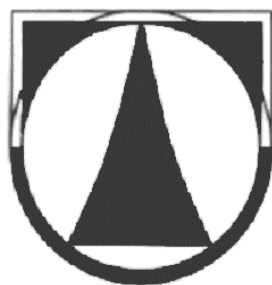


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Pavel Jirásek

**Vliv vkládaného materiálu na tekutost u
INMOLD technologie**

Diplomová práce

2007

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 - strojní inženýrství

Strojírenská technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv vkládaného materiálu na tekutost u INMOLD technologie

Influence of Material Inserted into Mould on the Flow by IN-MOLD Technology

Pavel Jirásek

KSP – TP - 777

Vedoucí DP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Konzultant DP: Ing. Josef Půta

Rozsah práce a příloh:

Počet stran..... 75

Počet tabulek..... 17

Počet obrázků..... 61

Počet příloh..... 0

3.1.2007

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M 2301 - Strojní inženýrství
Diplomant: Pavel Jirásek
Téma: Vliv vkládaného materiálu na tekutost u INMOLD technologie

Číslo DP: KSP – TP - 777
Vedoucí DP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld
Konzultant DP: Ing. Josef Půta

Abstrakt:

Tématem této diplomové práce je zjistit vliv tloušťky a textury vkládaného materiálu na tekutost u INMOLD technologie pro rozdílné parametry zkušebního tělesa a pro vybraný polymer.

Abstract:

The main topic of my thesis is to describe thickness and texture influence of material inserted into mould on the flow by IN-MOLD technology for the different parameters of experimental specimen and for selected plastic material.

Místopřísežné prohlášení:

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vykonal samostatně s použitím uvedené literatury a pod vedením vedoucího diplomové práce a konzultanta."

V Liberci, dne 5. ledna 2007

.....
Pavel Jirásek
Ježkova 3227/16
Ústí nad Labem 400 11

Poděkování:

Na závěr studia bych chtěl poděkovat všem vyučujícím, kteří mě po odborné stránce připravili k zvládnutí této práce. Především děkuji mému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi a konzultantovi Ing. Josefu Půtovi za jejich odborné vedení. Mé poděkování rovněž patří všem, kteří mi svými radami pomohli při vypracování této diplomové práce. Zvláště bych chtěl poděkovat svým rodičům, bratrovi s rodinou, dlouholeté partnerce a přátelům za jejich psychickou a hmotnou podporu během celého mého studia.

OBSAH

1. ÚVOD	10
1.1. Firma Cadence Innovation	11
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	13
2.1. Technologie vstřikování termoplastů	
2.1.1. Vstřikovací stroj	14
2.1.2. Parametry vstřikování	16
2.1.3. Vstřikovací cyklus	16
2.1.4. Fáze plnění	19
2.1.5. Fáze chlazení	21
2.1.6. Kaskádové vstřikování	22
2.2. In-Mold technologie obecně	22
2.2.1. Výhody In-Mold technologie.....	23
2.2.2. Nevýhody In-Mold technologie.....	23
2.2.3. Princip technologie In-Mold	24
2.2.4. Horizontální uspořádání.....	25
2.2.5. Vertikální uspořádání	25
2.3. Nízkotlaké vstřikování jako základ In-Mold technologie	26
2.4. Přípravné operace (úprava povrchu vkládaných materiálů)	28
2.5. Vlastní proces In-Mold technologie	29
2.5.1. Použití a příklady aplikace technologie In-Mold	32
2.5.2. Efekt suchého zipu	33
2.5.3. Kvalita dekorace – deformace vkládaného materiálu	34
2.6. Ořezávání zastříkovaných materiálů	35
2.7. Vkládaný materiál a jeho vliv na povrch	35
2.8. Konstrukce a návrh dílů pro technologii In-Mold	36
2.9. Formy	37
2.10. Problémy a vady u In-Mold technologie	38
2.11. Konkrétní aplikace a použití technologie In-Mold	40

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	44
3.1. Podstata experimentálního měření	44
3.2. Použitý materiál pro vstřikování	45
3.3. Použitý vstřikovací lis	46
3.4. Použitá vstřikovací forma	46
3.5. Vkládaný materiál.....	48
3.5.1. Zastříknuté vzorky	51
3.6. Popis experimentu a proces měření.....	53
3.7. Tabulka naměřených hodnot u technologie IN-MOULD	54
3.7.1. PP Kelburon 95610 + pletenina,PUR pěna.....	54
3.7.2. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 1	55
3.7.3. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 2	56
3.7.4. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 3	57
3.7.5. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě +netkaná textilie ..	58
3.7.6. PP Kelburon 95610 + PVC koženka	59
3.7.7. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 4	60
3.7.8. PP Kelburon 95610 + tkanina v plátňové vazbě	61
3.7.9. Porovnání naměřených hodnot	62
3.8. Tabulka naměřených hodnot při zastříkávání fólií	64
3.8.1. PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0.6 mm.....	64
3.8.2. PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0.4 mm.....	65
3.8.3. ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0.6 mm.....	66
3.8.4. ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0.4 mm.....	67
3.8.5. Porovnání naměřených hodnot	68
4. Diskuze	70
5. ZÁVĚR	73
POUŽITÁ LITERATURA	74

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY

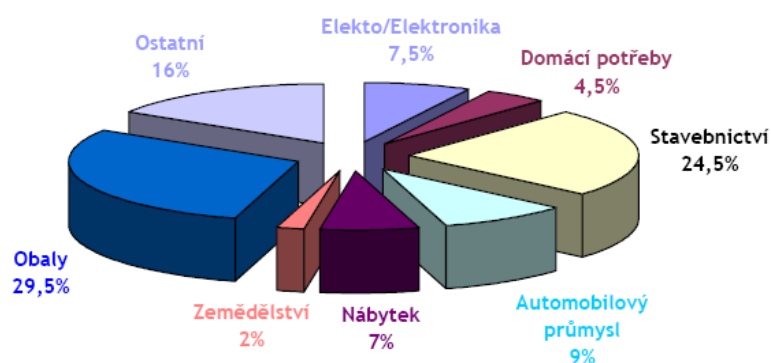
<u>Zkratka:</u>	<u>Význam [jednotka]:</u>
PP	polypropylén
ABS	terpolymer akrilonitril-butadién-styrén
t_{s1}	doba zavření formy [s]
t_{s2}	strojní čas [s]
t_v	doba plnění dutiny formy [s]
t_d	doba dotlaku [s]
t_{pl}	doba plastikace [s]
t_{ch}	doba chlazení [s]
t_{s3}	doba otevření formy [s]
T_f	teplota formy [K]
T_g	teplota zesklňování [K]
T_{tav}	teplota taveniny [K]
T	teplota [K]
v	měrný objem [m^3/kg]
p_z	zbytkový tlak [Pa]
s_N	pohyb nástroje [mm]
s_k	pohyb šneku [mm]
p_i	vnitřní tlak v dutině formy [Pa]
p	vstřikovací tlak [Pa]
T_m	teplota tání [K]
EMI	elektromagnetické rušení
RFI	rušení radiových frekvencí

1. ÚVOD

Plasty, v technické praxi dosud stále nazývané plastické hmoty, nabyly v posledních desetiletích takového významu, že dnes patří k nejdůležitějším materiálům umožňujícím modernizaci téměř ve všech výrobních i spotřebních odvětvích.

Plasty, jak již název odvozený z řeckého slova *plassein* (tvárný) napovídá, jsou materiály, které lze tvářet především tlakem a teplem. Jedná se o organické látky, jejichž střední hmotnost molekuly je víc jak 10 000 krát větší, než $1/12$ hmotnosti nuklidu ^{12}C , proto je lze označit za látky makromolekulární.

Dnes jsou velmi zřídka používány přírodní plastické hmoty, jako jsou např. hmoty na bázi celulózy, latexu, kaseinu. Jednoznačnou převahu mají hmoty připravované synteticky pomocí polymerace, polykondenzace či polyadice z ropy. Svědčí o tom i skutečnost, že pro přípravu plastů jsou spotřebována více jak 4% celkové těžby této suroviny. Zásoby ropy ovšem klesají a navíc výrobky z ní zatěžují životní prostředí. Proto se stále hlasitěji ozývá volání po nových hmotách, které by se po čase samy rozložily na biologicky nezávadné složky. Lze tedy předvídat návrat k přírodním plastickým hmotám? Vždyť dnes moderně nazývané bioplasty jsou hmoty vyráběné ze škrobu, celulózy nebo cukru. Používají se například k výrobě kelímků na jogurty nebo fólií, jejich výroba je však zatím zhruba čtyřikrát dražší než u běžných syntetických plastů a jejich vlastnosti nejsou schopny zcela splnit požadavky kladené na současné výrobky z plastů. Celosvětová produkce bioplastů proto dosahuje necelých dvou



Obr. 1.1: Světová spotřeba plastů dle aplikace.

setin procenta z celkové produkce plastů, kterou představuje magické číslo 180 milionů tun ročně.

Spotřebu plastů v jednotlivých odvětvích použití zachycuje obr. 1.1. Výhodnými vlastnostmi

plastů je nízká hmotnost, odolnost vůči chemikáliím, barvitelnost hmoty, již zmíněná dobrá jednoduchá tvarovatelnost a tepelná, zvuková a elektrická izolační schopnost.

Plastické hmoty jsou zařazovány do několika skupin podle různých hledisek jako je např. výroba, molekulární a nadmolekulární struktura, chemické složení, aplikace plastu. Nejčastěji je však používáno dělení podle teplotního chování plastu, neboť má pro praxi největší význam, na *termoplasty* a *reaktoplasty*.

- **Termoplasty** jedná se o polymerní materiály. Mají schopnost opakovaně ohřevem přecházet do plastického stavu a ochlazením tuhnout v teplotním intervalu charakteristickém pro daný plast, přičemž opět získávají své původní vlastnosti. Při ohřevu nastávají pouze změny fyzikální povahy, ale chemická struktura plastu se nemění. Z tohoto důvodu je možné u těchto látek opakovat plastikaci a následné tuhnutí teoreticky do nekonečna. Do této skupiny plastů lze zařadit polyolefiny, polyhalogenolefiny, polystyrenové plasty, polyamidy, atd.

- **Reaktoplasty** jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, se v technické praxi používá pojem vytvrzování, v případě kaučukovitých hmot je síťovací reakce nazývána vulkanizací. Výrobek je pak možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Mezi zástupce reaktoplastů patří fenolické pryskyřice, epoxidy a kaučuky.

Mezi poměrně nové technologie vstřikování patří např.: GIT – vstřikování plastů pomocí plynu, WIT – vstřikování plastů s podporou vody, vícekomponentní nebo vícebarevné vstřikování, IN-MOLD technologie – zastřikování textilií, folií s plastem (nízkotlaké plnění dutiny formy).

1.1. Firma Cadence Innovation - výrobce a vývojový dodavatel plastových výrobků a systémů pro automobilový průmysl

Závody firma Cadence Innovation můžeme najít v Liberci, Nymburce, Libáňi a nově také v Esztergom v Maďarsku. Mezi hlavní odběratele firmy Cadence Innovation patří světový výrobce automobilů a to zejména Audi, Suzuki, Škoda Auto, TPCA a Volkswagen. Jednotlivé výrobní závody ukazuje obr. 1.2.

Firma Cadence Innovation ve svém výrobním programu používá tyto technologie: vstřikování velkých plastových dílů, dvoukomponentní vstřikování, vstřikování za pomoci dusíku, zastřikování folie, ořez laserem, vypěňování,



zalisování textilu & folie, lisování, svařování (ultrazvuk & horký element), lakování pro exteriérové a interiérové plastové díly, elektrostatické lakování, vodou ředitelné laky, softlak a/nebo dekorlak.

Kvalita je pro firmu Cadence Innovation na prvním místě, vlastní certifikát dle normy ISO TS 16949:2002 a dále ISO 14001:2004 „norma ochrany životního prostředí“.

Výroba je realizována prostřednictvím : 102 vstřikovacích strojů s uzavírací silou 1.600 až 32.000 kN, 3 výrobní linky dveřních výplní, 3 lakovací linky, montážní pracoviště, řízení uvnitř závodu pomocí systému Kanban, v neposlední řadě vlastní vývojové centrum a nástrojárnu.

Denní produkce: nárazníky – 33 % výroby cca 4300 lakovaných nárazníků denně, kokpit – 38 % cca 2300 sad denně + 700 přístrojových desek, dveřní výplně – 22 % výroby, více jak 6200 dveřních výplní, mřížky chladiče 7 % cca 2150 lakovaných a chromovaných mřížek na chladiče denně.



závod Liberec



závod Libáň



závod Nymburk



závod Esztergom

Obr.1.2: Závody firmy Cadence Innovation

2. TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části této diplomové práce budou postupně probrány současné poznatky ohledně technologie In-Mold, o možnostech z hlediska vlivu stroje, nástroje, vkládaném materiálu, apod.

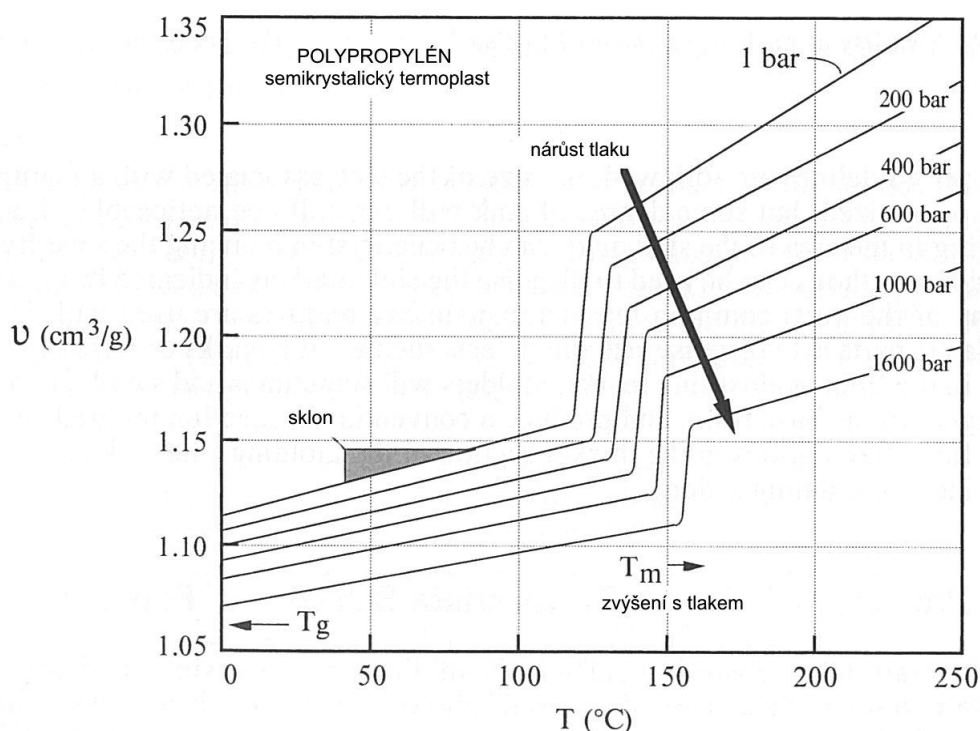
2.1. Technologie vstřikování termoplastů

K tváření termoplastů lze použít několika technologických postupů, jako je například vytlačování, vyfukování, ohýbání, tvarování, válcování. Nejvíce je však používána technologie vstřikování.

Podstatou této technologie je vstříknutí roztaveného plastu z pomocné tlakové komory do uzavřené dutiny formy, kde tato hmota ztuhne ve finální výrobek, výstřik. Výhody tohoto diskontinuálního, cyklického procesu jsou především v možnosti vyrábět přesné, tvarově velmi složité výrobky během jedné operace a často bez potřeby následného obrábění a dalších operací, které by prodražovaly výrobu. Využití materiálu je u technologie vstřikování téměř stoprocentní, neboť je možné materiál použitý i nepoužitý na samotný výrobek recyklovat. Hlavní nevýhodou technologie vstřikování je investiční náročnost jak vstřikovacích lisů, tak periferních zařízení a formy.

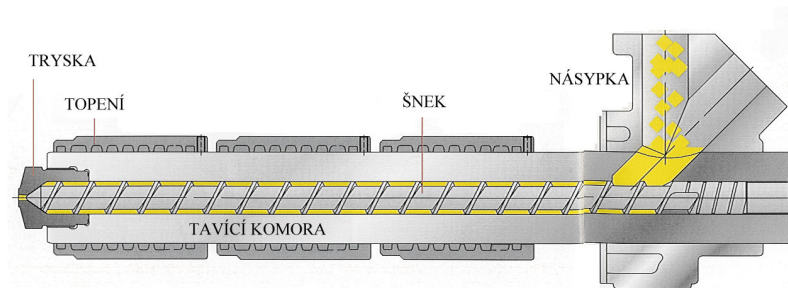
Také je důležité se zmínit, že při vstřikování termoplastů nedochází za působení tepla k chemické reakci, která by mohla nějakým způsobem ovlivnit konzistenci taveniny, ale pouze k ději fyzikálnímu. Jednou z vlastností termoplastů je jejich schopnost vytrvat v plastickém stavu, a to déle než reaktoplasty a kaučuky. Vzhledem k této schopnosti termoplastů je důležité po každém tváření provádět ochlazení. Tím se vyhneme zbytečné deformaci, a tedy znehodnocení výrobku. Pro určení okamžitého stavu plastu se využívá diagram závislosti tlaku (p), teploty (T) a měrného objemu (v) - viz obr. 2.1.

Jinak je tomu u reaktoplastů a kaučukovitých hmot, jelikož ty během tvářecího procesu zesíťují (vytvrzují se, resp. vulkanizují) a dále se již nedají teplem tvářet. Říkáme, že plast ztrácí svou plastičnost. Proto se výrobky z těchto materiálů ve formách nechladí a ihned se z forem vyjímají. V těchto formách se tedy na rozdíl od termoplastických hmot materiálu teplo dodává, a proto by nebylo ani dost dobře možné tuto formu opatřit chladícím okruhem.

Obr. 2.1.: Diagram p - v - T semikrystalického termoplastu

2.1.1. Vstřikovací stroj

V dnešní době je již pístový vstřikovací stroj historií a pro vstřikování se výhradně používá strojů šnekových. Tyto vstřikovací stroje mají dvě na sobě nezávislé jednotky, a to **vstřikovací** a **uzavírací** jednotku. Úkolem **vstřikovací**

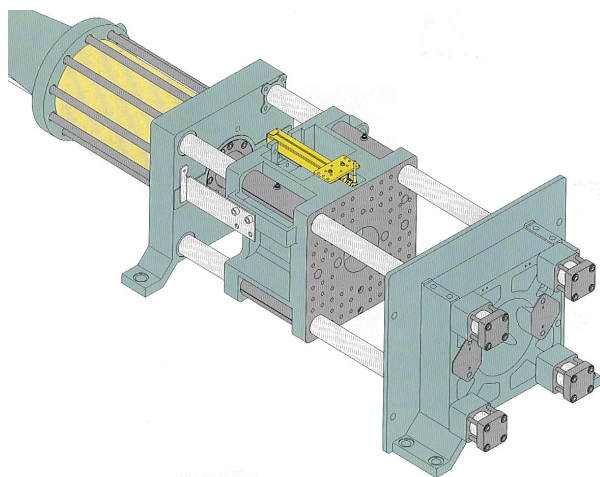


Obr. 2.2.: Vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje

jednotky (viz obr. 2.2.) je zajistit dávkování granulátu, jeho plastikaci, vstříknutí roztavené hmoty do formy, provedení dotlaku a zajištění dalších pohybů tavicí

komory, jako je její odsunutí od formy a přisunutí k formě. **Uzavírací jednotka** (viz obr. 2.3.) stroje zajišťuje pevné uzavření vstřikovací formy během plnění, které je ve většině případů v kombinaci s mechanickým zámkem, a všechny pohyby formy nutné k vyhození hotového výrobku z formy. Maximální hodnota síly uzavírací jednotky je vedle typu konstrukce vstřikovacího zařízení a vstřikovací kapacity často užívána pro

charakteristiku vstřikovacího stroje. Obě jednotky jsou ovládány pomocí regulačního a řídicího systému, který zabezpečuje poloautomatický, případně plně automatický provoz stroje. Toto zařízení také samočinně dodržuje nastavené technologické parametry, k nimž patří teplota vstřikované taveniny, vstřikovací tlak, rychlost

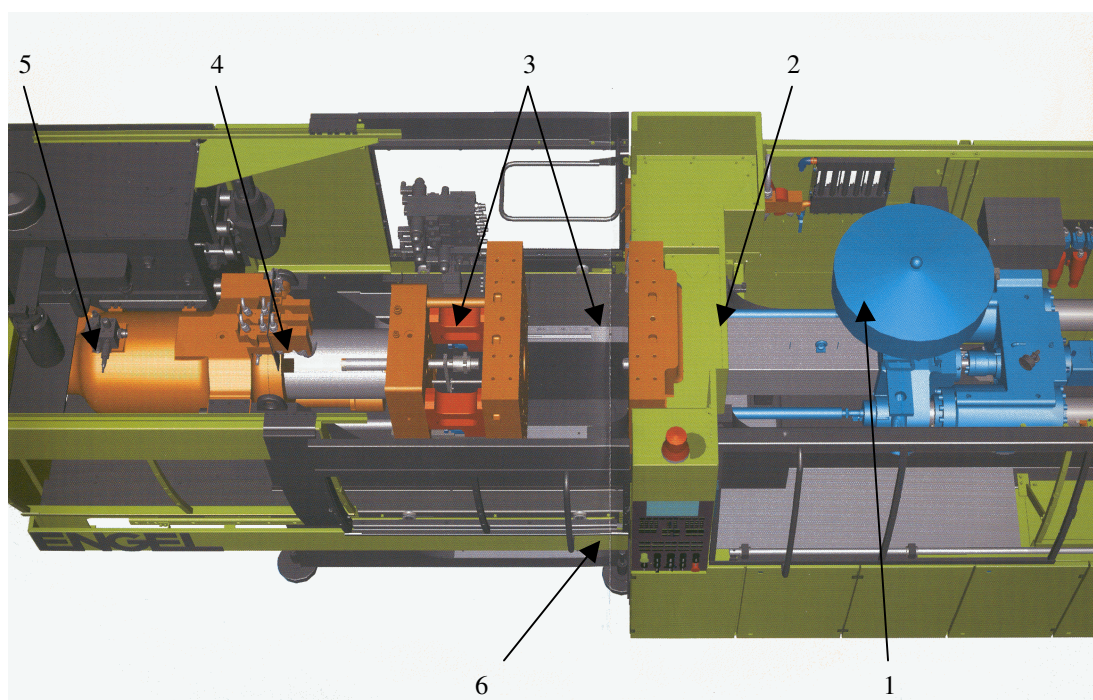


Obr. 2.3.: Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje

vstřikování, teplota formy a časové rozčlenění celého vstřikovacího cyklu.

Pro pohon vstřikovacích strojů se používá hydraulických motorů, které jsou nahrazovány motory elektrickými především díky jejich nižší energetické náročnosti a čistotnějšímu provozu

Schéma horizontálního vstřikovacího stroje znázorňuje obr. 2.4.



Obr. 2.4.: Schéma šnekového vstřikovacího stroje

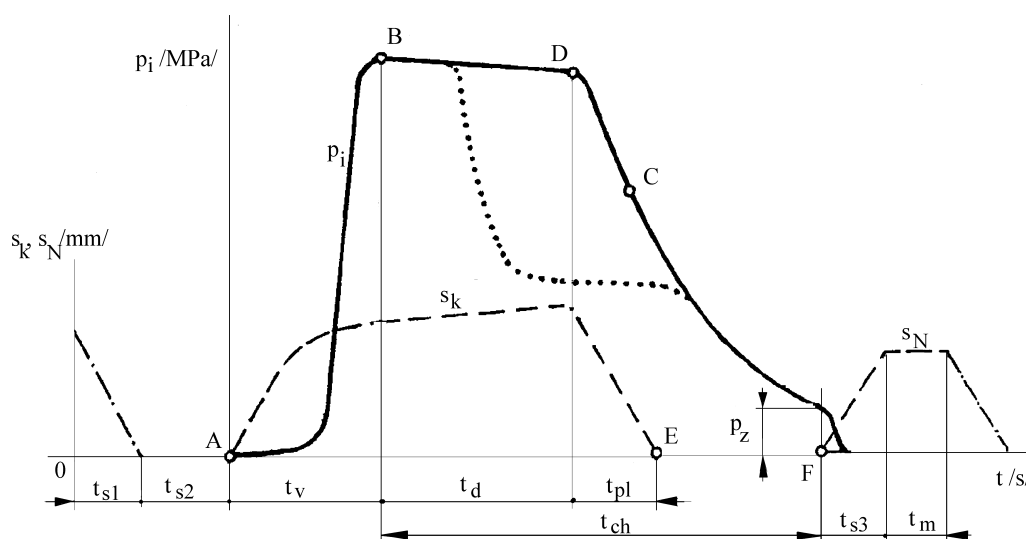
1. Násypka, 2. Tavící komora, 3. Upínací desky pro uchycení vstřikovací formy, 4. Píst ovládající uzavírání vstřikovací formy, 5. Hydromotor, 6. Ovládací panel

2.1.2. Parametry vstřikování

- Vstřikovací tlak se pohybuje mezi 50 a 250 MPa. Tento tlak vytváří velké síly, které působí na stěny formy. Forma proto musí být dostatečně dimenzovaná a tuhá. Také stroj musí dodávat dostatečný tlak který musí kolísat mezi nulou a maximálním tlakem vstřikování. Tato redukce musí být dostatečně rychlá, aby v okamžiku otevření formy nebyl plast vytlačován do volného prostoru.
- Teplota vstřikování se pohybuje mezi 120 a 350 °C. Tato teplota se ve vstřikovacím stroji vytváří pomocí elektrického topného systému, který je ovládán mikroprocesorem, který zajišťuje optimální teplotu taveniny plastu.
- Teplota formy je od 0 do 150 °C. Temperační medium cirkuluje ve formě v temperačních kanálech a zajišťuje chlazení, případně ohřev dutiny formy.
- Dobu chlazení ve formě určujeme z kompromisu mezi snahou minimalizovat strojní čas a zároveň nepřipustit deformaci nedokonale ztuhlého výrobku předčasně vyhozeného z formy, resp. ovlivnění nadmolekulární struktury.

2.1.3. Vstřikovací cyklus

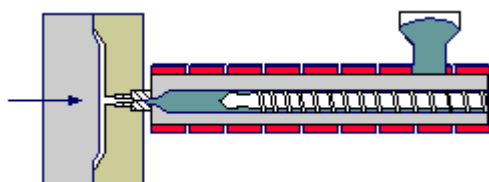
Vstřikovací cyklus lze rozdělit na tyto hlavní časové fáze (viz. obr. 2.5.): 1. uzavření formy, 2. vstřik taveniny do uzavřené formy, 3. dotlak taveniny, 4. plastikace materiálu v tavící komoře, 5. chlazení taveniny ve formě, 6. vyjmutí výstřiku z formy.



Obr. 2.5.: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování

Vstřikovací cyklus je časový úsek zahrnující sled všech dílčích operací nutných pro zhotovení výstřiku. Počátkem cyklu je okamžik odpovídající impulsu k zavření formy. Vstřikovací cyklus můžeme posuzovat z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost vnitřního tlaku v dutině formy p_i na čase, která je nazývána tlakovým cyklem (viz obr. 2.5.). Plná čára na obrázku znázorňuje průběh tlaku v dutině formy během vstřikovacího cyklu, přerušovaná čára pohyb šneku a čerchovaná čára pohyb formy.

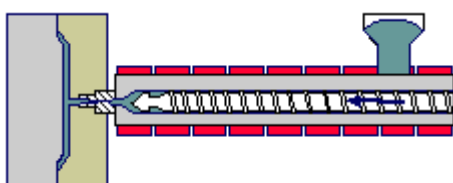
Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku t_{s1} se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne (viz.



Obr. 2.6.: Uzavření formy

obr. 2.6). Pro uzamčení formy je vynaložena až třikrát vyšší síla než síla použitá pro přisunutí formy, neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. V případě nepatrného pootevření či prohnutí formy mají výstřiky různou

hmotnost a mohou se vyskytovat i otřepy. Takovému pootevření formy či pružnému prohnutí nástroje se v praxi též říká dýchnutí formy. Výjimkou je technologie používaná při výrobě tenkých velkoplošných výstřiků, kdy se forma vlivem tlaku taveniny cíleně nepatrně pootevře a následně je výstřik dolisován přesně regulovanou zvýšenou přidržovací silou a ochlazen. Čas t_{s2} je vymezen k přisunutí tavicí komory k formě, které je používáno v některých případech vstřikování. Úseky t_{s1} a t_{s2} představují tzv. *strojní časy*. V okamžiku A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a působí vlastně jako píst (viz obr.



Obr. 2.7.: Plnění dutiny formy

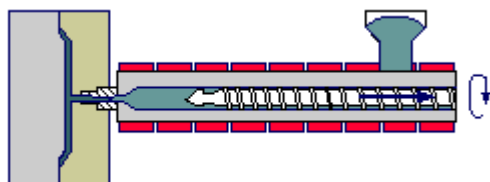
2.7). Při postupném plnění nazývaném též laminární vzniká uprostřed plastické jádro, což umožňuje později stlačení taveniny v dutině formy a dotlačení v průběhu chlazení výrobku.

Po zaplnění dutiny formy dochází ke stlačení taveniny, vzroste tlak ve formě i v hydraulice a rychlost, kterou

bylo vstřikováno okamžitě poklesne. Tlak v této době dosahuje svého maxima, vzniká tzv. tlaková špička. To má za následek, že tuhnoucí hmota má v povrchových vrstvách větší hustotu, což následně u výstřiku vyvolá anizotropní chování. Tento děj je ukončen v bodě **B**.

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku a tato doba se nazývá *doba chlazení* a je označena t_{ch} . Doba chlazení je závislá na teplotě formy T_{Fo} , která je nastavována na co nejnižší teplotu při zachování kvality výrobku a tloušťce stěny výrobku. Z ekonomického důvodu se v praxi snažíme, aby doba chlazení, která nejvíce ovlivňuje dobu cyklu, byla co možná nejkratší.

Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem a aby se na výstřiku netvořily staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy tak, aby výrobek měl konstantní měrný objem. Tento úsek cyklu se nazývá *doba dotlaku* a značí se t_d . Tlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak, nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku.

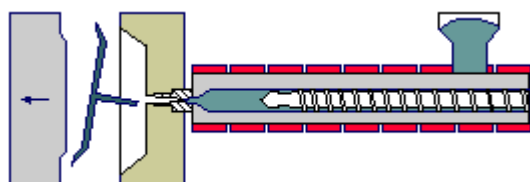


Obr. 2.8.: Plastikace

Pro dotlačování je důležité, aby před čelem šneku zůstal určitý objem plastu – *polštář*, který ovšem z důvodu možné degradace hmoty nesmí být moc velký. Doba dotlaku končí v bodě **D**. Po časovém úseku dotlaku nastává *doba plastikace* t_{pi}

nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a přes zpětnou uzavěrku vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. *protitlak* neboli zpětný tlak (viz obr. 2.8). Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku, a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. Homogenitu taveniny je možné ovlivnit konstrukcí zpětné uzavěrky, šneku a jeho otáčkami, dále pak zpětným tlakem a objemem vstřikovaného materiálu.

Z hlediska vlastností výstřiku je důležitý bod **C**, označující okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve vtokovém kanálu. Vtokový kanál spojuje dutinu formy s dutinou tavicí komory a dokud je hmota v kanálu ve stavu tekutém, může vstřikovací jednotka ve fázi dotlaku ovlivňovat tlakové poměry v dutině formy. Zatuhnutím hmoty se však



Obr. 2.9.: Otevření formy, vyhození výstřiku

spojení mezi tavicí komorou a dutinou formy přeruší a další prodlužování dotlaku se stane bezúčelné. Doba dotlaku tedy skončí nejpozději v bodě **C**, kdy body **D** a **C** splynou

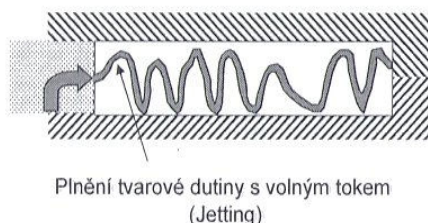
v jediný, anebo může skončit ještě před úplným zatuhnutím vtoku. To má potom za následek rychlejší pokles tlaku ve formě, protože nepatrné množství taveniny může vlivem přetlaku v dutině formy vytéci zpět kanálem do tavicí komory. Plastikace je skončena v bodě **E** a dále může následovat odsunutí tavicí komory od formy, označené jako t_k . Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota, pochopitelně již ztuhlá, nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích, které u křehkých hmot mohou způsobovat až samovolné praskání výstřiku a také obtížné vyjímání výstřiku z formy. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku anebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku, jak je na obr. 2.5 znázorněno tečkovanou čarou. Po dokonalém zchladnutí výstřiku se forma otevře (bod **F**) a výstřik a vtok se pomocí vyhazovacího systému uvolní z formy (viz obr. 2.9). Na tuto operaci je potřeba *strojní doba* t_{s3} . Je-li výstřik vyjímán z formy manipulátorem, je k tomu navíc vymezena *manipulační doba* t_m . Ta je určena i k případné další činnosti, např. ke vkládání kovových zálistků do formy, k očištění formy apod. V dalším kroku dojde opět k uzavření formy a celý proces se opakuje.

2.1.4. Fáze plnění

Doba plnění dutiny formy t_v závisí na rychlosti vstřikování tj. od rychlosti pohybu šneku vpřed, která závisí na technologických podmínkách, zejména na teplotě taveniny T_{tav} a na vstřikovacím tlaku p . Vliv však má i teplota formy, objem výstřiku a jeho geometrický tvar, dále konstrukce vtokové soustavy a druh plastu.

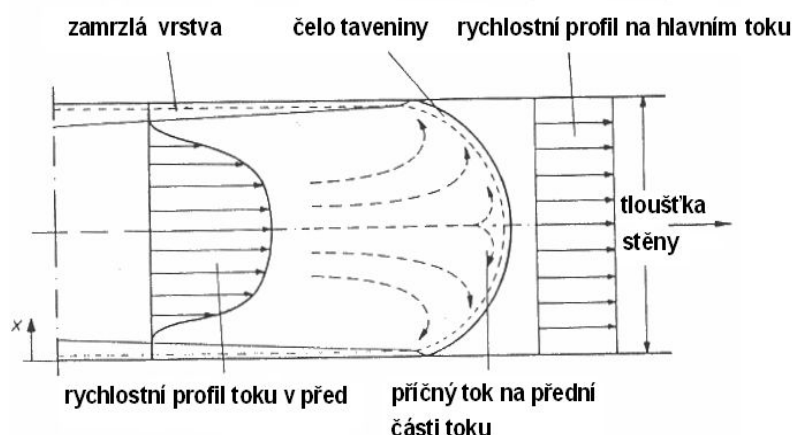
K určité vstřikovací rychlosti patří určitá hodnota vstřikovacího tlaku, nebo-li nelze nastavovat velkou vstřikovací rychlost při nízkém tlaku. U složitých výrobků a u výrobků s vysokými požadavky na kvalitu a přesnost výroby je možné programovat průběh rychlosti vstřikování. Vysoká vstřikovací rychlost má příznivý vliv na orientaci makromolekul, ale je zde i nebezpečí přehřátí a degradace materiálu. Doba plnění se pohybuje od zlomku sekundy do několika málo sekund. Doba plnění by měla být co nejkratší, protože vstřikovaná tavenina se stykem s chlazenou formou ochlazuje a

ztrácí tekutost. Proces plnění je řízen tak, aby tavenina nevtékala do formy volným vtokem (viz.obr. 2.10.), ale aby materiál vtékal do formy postupně. Při postupném plnění, laminárním tokem (viz. obr.2.11.), se jedná o složitý mechanismus tuhnutí vrstev taveniny.



Obr. 2.10.: Plnění volným vtokem

Teplota formy je mnohem nižší, než teplota taveniny (zhruba 3 až 4krát) a tak tavenina při styku se stěnou formy okamžitě ztuhne a vytvoří nepohyblivé hmoty *taveniny plastů* a zároveň i vrstvu tepelné izolace. Uvnitř je potom plastické jádro s nízkou viskozitou, která umožňuje další průtok taveniny plastu do dutiny formy, která se roztéká směrem ke stěnám, až dojde k zaplnění dutiny formy. Vzhledem ke



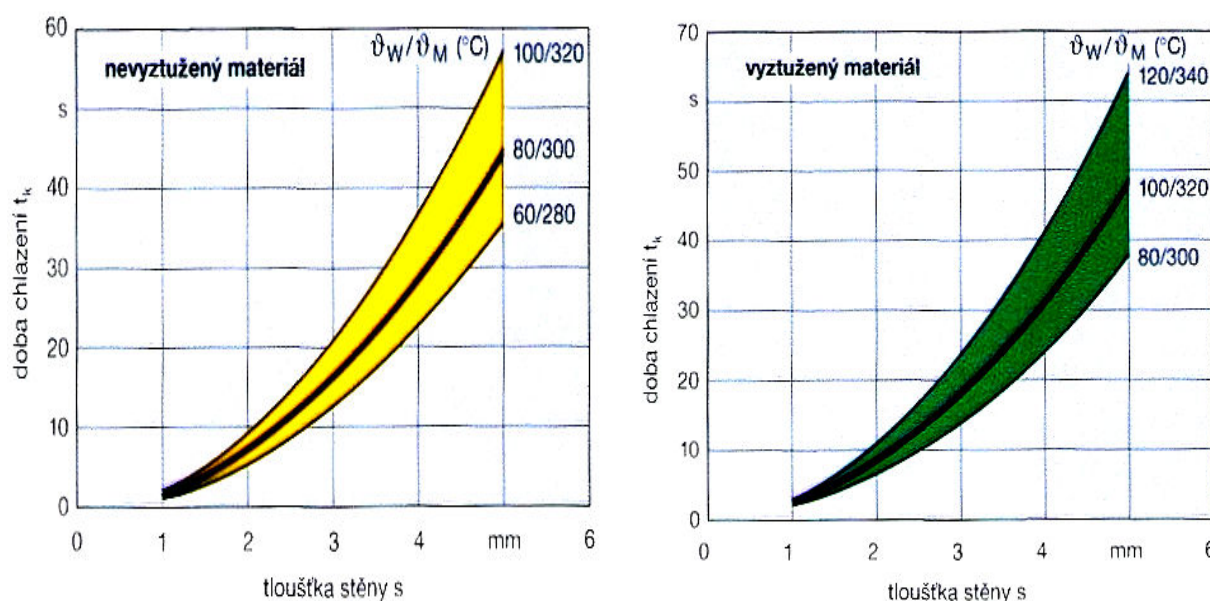
Obr. 2.11.: Laminární tok taveniny plastu

zvyšování viskozity směrem ke stěně formy dochází k rostoucí rychlosti v plastickém jádru a k zakřivení čela (viz. obr. 2.10.). Pokles vstřikovacího tlaku je potom směrem ke stěně formy.

2.1.5. Fáze chlazení

Doba chlazení t_{ch} představuje největší část cyklu a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika málo minut. Závisí na:

- tloušťce stěny výstřiku
- druhu plastu
- teplotě taveniny
- teplotě formy
- teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy.



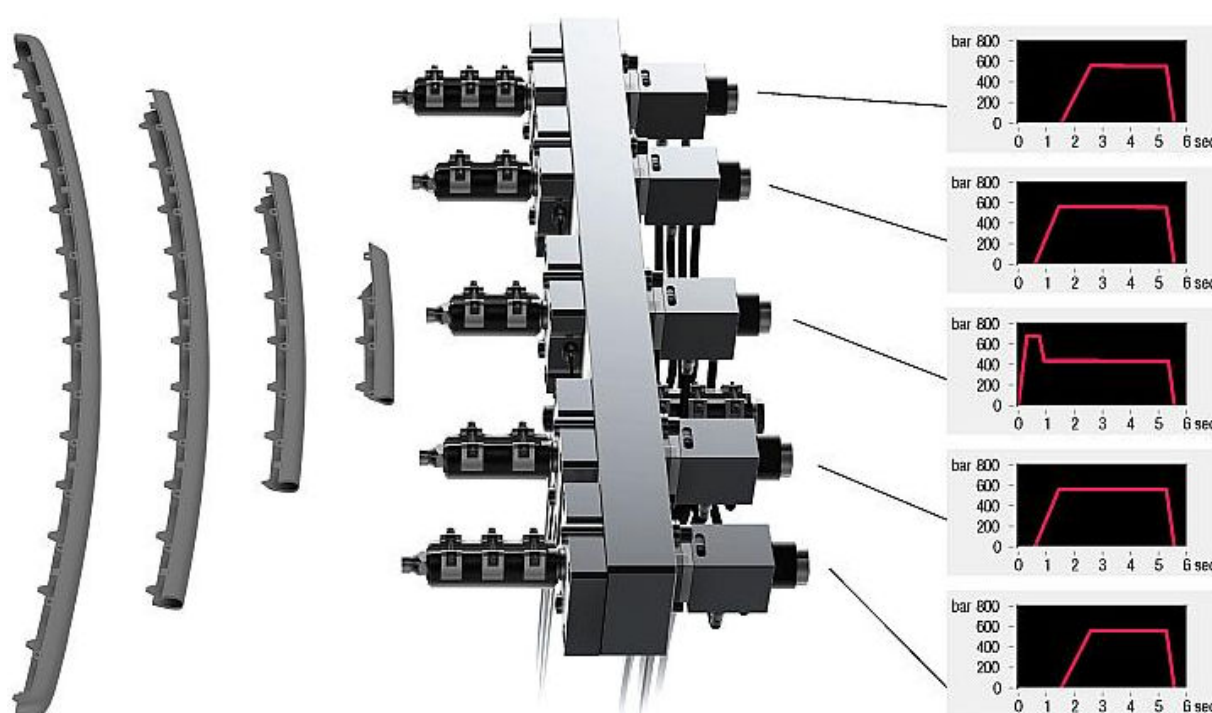
Obr. 2.12.: Nomogram doby chlazení pro vybraný plast (POM) a vliv procentu přísad

Během vstřikování dochází ke styku horké taveniny s relativně studenou formou. Teplo je formou odváděno a odchází stěnou vtokového kanálu z taveniny přes zamrzlou vrstvu a materiál formy do temperačního systému nástroje. Teplota taveniny dále klesá a je závislá na čase a na tloušťce zamrzlé vrstvy.

Je snaha zkrátit dobu chladnutí na minimum, pomocí účinného chlazení formy, zejména u těch míst kde hmota chladne pomaleji. Chladnutí začíná již během fáze vstřikování a pokračuje během dotlaku, dochází zde ke značným změnám stavových veličin, tlaku, měrného objemu a teploty (viz. obr. 2.12.). Dále chladnutí ovlivňuje strukturu, tj. orientaci, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale také kvalitu povrchu, zejména lesk.

2.1.6. Kaskádové vstřikování

Na výrobu až dva metry dlouhých, štíhlých výrobků je zaměřena technologie kaskádového vstřikování. A vzhledem k tomu, že tato diplomová práce se zabývá výrobou dveřních výplní, bude v této části uveden i popis principu kaskádového vstřikování. S výhodou je u této technologie užíváno horkých rozvodů taveniny s uzavíratelnými živými vtoky. Přičemž pro každou trysku je možné zvolit optimální tlakový profil, což vede k plynulejšímu toku taveniny. Mezi výhody této technologie patří především omezení tvorby studených spojů a viditelných následků přepnutí na dotlak. Princip kaskádového vstřikování s grafy, zachycujícími závislosti tlaků taveniny na časech v jednotlivých živých vtocích, je patrný z obr. 2.13.



Obr. 2.13.: Schéma a princip kaskádové vstřikování

2.2. IN-MOLD technologie obecně

Technologie In-Mold je používána všude tam, kde je potřebná vysoká pevnost, kvalita, design, apod. kombinovaná s jinými funkcemi, kde jsou požadovány nové a inovativní řešení. Obsahuje spektrum vlastností a požadavky na integraci od jednotlivých detailů k multifunkčním modulovým prvkům, jednostupňovou výrobu bez opracování a vynikající pevnostní vlastnosti ve spojení s redukcí hmotnosti.

Tak např. vstřikované díly z plastů zpevněných dlouhými skleněnými vlákny nabízí vynikající potenciál řešení pro současné dveřní výplně. Nebo zastříkávání fólií nabízí možnost, jak cíleně dotvářet a vytvářet vzhled plastových součástí. Přitom se může jednat o dekor (jednobarevný, vícebarevný, s integrovanými symboly, průsvitný), povrchovou úpravu (lesklou, strukturovanou, matovou) nebo vysoký lesk. Oproti jiným metodám může být dekorace dílů změněna bez přerušení výroby použitím fólií s rozdílnými dekory. Jiných vlastností (např. odolnost vůči různým médiím, měkkost na dotyk) může být dosahováno použitím svazku fólií nebo vícevrstevnými materiály, např. textiliemi.

Technologie zastříkávání fólií není omezena pouze na jednoduché tvary, nýbrž je použitelná i pro komplexní tvarované součásti. V rámci této technologie se může také použít recyklovaný materiál. Jsou rozmanité možnosti, jak tuto technologii využít při realizaci technicky náročných, hospodářsky zajímavých a smysluplných řešení. Metoda je velmi flexibilní a dovoluje vyrábět díly se specifickými vlastnostmi povrchu tzv. „za chodu“ ve velkých sériích. Předpokladem jsou vhodné, předem vytvarované a oříznuté polotovary, které splňují požadované vlastnosti.

2.2.1. Výhody IN-MOLD technologie

Mezi výhody technologie In-Mold patří především: 1. design, 2. výkonnost a nízké náklady, 3. úspora hmotnosti materiálu, 4. zlepšení korozní odolnosti.

Změnami povrchu výrobku a případných modelových změn lze dosáhnout pouhou výměnou fólie, textilie, apod. namísto pracného a nákladného zpracování nových nástrojů a přípravků. Barevnou změnu pak zajistíme pouhou výměnou barvy fólie, namísto nákladné změny materiálu. Dále má výrobek lepší odolnost vůči klimatickým změnám, odolnost proti korozi, elektromagnetickému rušení (EMI) a rušení rádiových frekvencí (RFI). Zaznamenány byly také nákladové úspory až 30 % ve srovnání s tradičním zpracováním vs. druhotná povrchová úprava.

2.2.2. Nevýhody IN-MOLD technologie

Technologie In-Mold může vyžadovat některé z následujících kroků: 1. manipulace, 2. vysekávání, 3. předlisování či zavádění fólie do formy, které jsou

označovány jako jeho vlastní kroky, které představují doplňkovou činnost pracovníků v oblasti pro technologii zpracování a často mohou vyžadovat specializované školení. Pro realizaci těchto činností může být často nezbytné vynaložit v oblasti pro tuto výrobu dostatečný výrobní prostor. Recyklování dekorativních komponentů může být rovněž obtížnější z důvodu přítomnosti některých složek, které nelze opakovaně zpracovávat. Jedním z příkladů je využití pokovené fólie buď pro dekorativní účely či pro účely odstínění EMI/RFI.

2.2.3. Princip technologie IN-MOLD

Technologie označovaná jako „In-Mold technologie“, je technologie určená pro zpracování plastů, pro výrobu konečných interiérových a vzhledových dílů v jedné operaci. Tato technologie se z velké části používá pro automobilový průmysl. Snaha výrobců je i u takto složitých a vícekomponentních dílů dosáhnout co nejnižší ceny. V důsledku rozmachu polyolefinů v automobilovém průmyslu se doporučuje pro tuto technologii používat v celém objemu polypropylen (PP) nebo (ABS), resp. polymerní směsi. Tato technologie je založena na vkládání různých materiálů ve formě polotovaru nebo předtvarovaného dílu do dělicí roviny vstřikovací formy, pro zlepšení vzhledových vlastností výrobku nebo pro výrobu dílů s vysokou kvalitou povrchu (viz. obr. 2. 14). Jedná se o integraci plastu a dekoračního materiálu (např. textilie, fólie, apod.) za vzniku vysoce kvalitního výrobku při zachování produktivity a ekonomické výroby dekoračních výrobků. Velikost vyráběných dílů je omezena velikostí stroje. V zásadě je možné aplikovat technologii ve dvou uspořádáních – horizontálním a vertikálním.

potištěná a deformovaná fólie

konfekční fólie

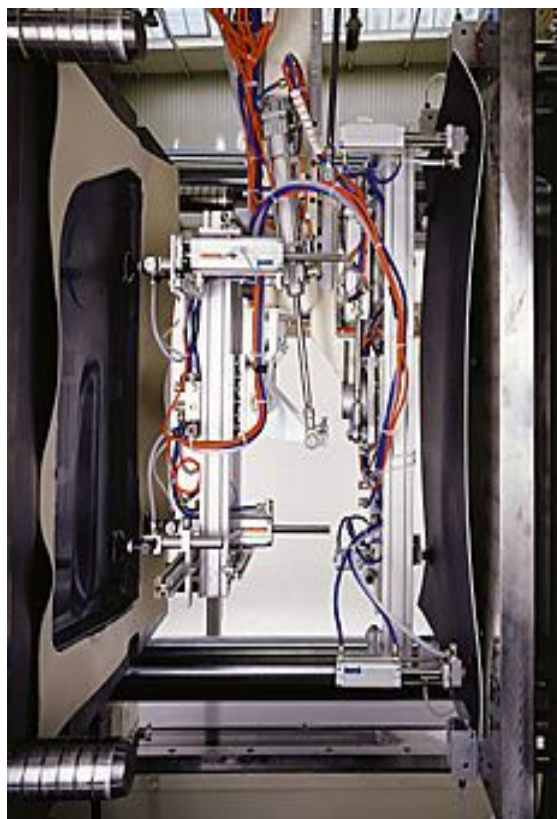
hotový výrobek



Obr. 2.14.: Princip zastříkování fólií (potištěná a předtvarovaná fólie)

2.2.4. Horizontální uspořádání

Technologie „koinjekce“ u horizontálních strojů pro In-Mold technologii zpracování plastů je rychlou, pružnou a hospodárnou alternativou pro nízkotlakové procesy - viz. obr. 2.15. Důležitým parametrem pro technologii koinjekce s textilií jsou krátké časové distance mezi plněním, čehož se ve většině případů dosahuje



rozmístěním horkých vtoků v nástroji nebo kaskádovým vstřikováním. Spojením jednotlivých sekvencí a jejich kontroly jehly uzavírající trysku zabraňuje se stečení (soutoku) jádra a tedy tvorbě vrásek na povrchu. To na druhé straně způsobuje zvýšení průtoku v důsledku nízkého tlaku uvnitř formy a vypoulení. Výsledkem je porušení dekorativního materiálu. Odstrizení přebytečné látky po vyrobení je možné buď ve formě (vyšší cena nástroje a delší strojní časy) a nebo mimo nástroj pomocí laseru.

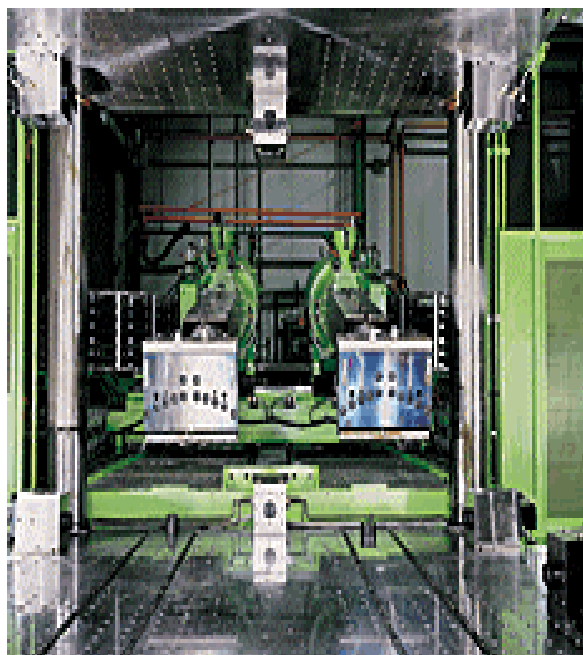
Obr. 2.15.: Horizontální uspořádání

Princip u horizontálního uspořádání je následující: vložení (založení) přístřihu např.: textilie nebo přetvarované fólie do tvarové dutiny nástroje, např. robotem, opatrné vstřikování taveniny plastu (použití kaskádového vstřikování při výrobě velkých ploch), chlazení výlisku (nerovnoměrný přestup tepla skrz vloženou textilií), vyjmutí konečného výrobku.

2.2.5. Vertikální uspořádání

Při výrobě velkých komponentů a dílů v jediné operaci se používají vertikální stroje. Dekorace je dosaženo přímo v nástroji. Vstřikování taveniny plastu (extruze) se provádí s maximální opatrností v důsledku nejnižšího tlaku v dutině. Proces je obzvláště vhodný pro výrobu výlisků s dekoračním materiálem na obou stranách.

Princip u vertikálního uspořádání je následující: vstřikovací jednotka s velkým průřezem trysky se posune do otevřené lisovací formy a vstříkne extruzí taveninu plastu (tloušťka 10 až 15 mm, plnění 10 až 20 sekund) na povrch spodní části



nástroje – tavenina je přerozdělena po ploše výlisku; vložení (založení) dekorační textilie do tvarové dutiny nástroje (tkaná a netkaná textilie, koberec, fólie, apod.); vstřikovací jednotka se odsune z prostoru lisování a lisovací formy a dojde k uzavření lisovací formy a dojde k uzavření nástroje; lisování za působení teploty a tlaku; vyjmutí konečného výrobku (možnost současně plnit formu).

Obr. 2.16.: Vertikální uspořádání

2.3. Nízkotlaké vstřikování jako základ IN-MOLD technologie

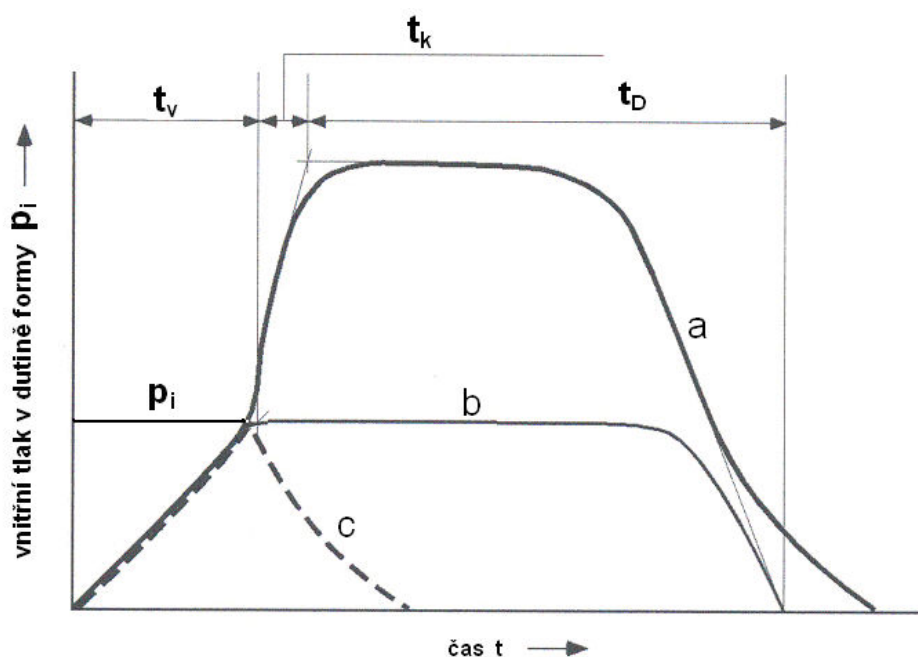
Nízkotlaké vstřikování je alternativou klasického vysokotlakého vstřikování. Nízký tlak je jak na straně vstřiku, tak i na straně uzavírací jednotky.

Výhodou je snížení velikosti stroje, nízké napětí a vnitřní pnutí ve výrobku, dostatečná velikost dílů, nízká cena nástroje. Nízký tlak je využit u „pracného“ potahování dílů, jako je např.: pro vnitřní obložení motorových vozidel, kde je možné zhotovit spoj, také v pracovním chodu. Tím se zvyšuje přínos, možnosti vstřikování a hranice snížení tlaku, což představuje stupeň vývoje techniky vstřikování a ukazuje metodu, pomocí které je možno zkoumat způsobilost použití dekoračních materiálů.

Průběh vnitřního tlaku nástroje při běžném vstřikování je znázorněna na obr. 2.17, křivka a. Dutina formy je plněna objemově. To je většinou znatelné jako zlom v tlakové křivce. Vstřikovací tlak a jeho velikost určují geometrii dutiny formy a podmínky procesu. Tento tlak tedy nemá žádnou přímo nastavitelnou hodnotu.

Výška a doba trvání následného dotlaku jsou určeny pomocí nastavení stroje, aby se zabránilo a kompenzovalo smrštění .

V čase objemového plnění dutiny formy je dosaženo maxima v rozdílu tlaku mezi vstřikem „ústím vtoku“ a hranicí ukončení dráhy toku tečení = „konec toku“. Teprve ve fázi komprese taveniny a následného působení tlaku se také tvoří tlak na hranici ukončení dráhy toku tečení. Podle podmínek procesu dochází k více či méně velkému vyrovnání tlaku podél konečné dráhy toku tečení. Výsledek ze středního tlaku v nástroji a z promítané plochy vstřikovaného dílu udává sílu dotlaku, která zabraňuje (pracuje) proti přidržovací síle. Síla dotlaku vytváří deformaci nástroje a uzavírací jednotky, které mohou být mimo jiné pozorovány jako „přisávání“ nástroje. Snížením vnitřního tlaku nástroje na menší hodnotu – přibližnou jako plnicí tlak – může být potřebná přidržovací síla podstatně snížena (obr. 2.17, křivka **b**).



Obr. 2.17.: Průběh vnitřního tlaku v nástroji

a) průběh tlaku v nástroji u běžného vstřikování, b) při vstřikování se sníženým následným tlakem, c) bez následného tlaku

p_i - vstřikovací tlak, t_v - doba vstřikování, t_k - doba stlačení taveniny, t_D - doba dotlaku

Nejúčinněji se dá tlak v nástroji snížit, pokud upustíme od stlačení taveniny a následného dotlaku, který je vyšší, než plnicí tlak a vlastní plnicí tlak bude minimalizován (obr. 2.17, křivka **c**). Vstřikování bez následného tlaku má za následek

to, že úbytek (smršťování) objemu od stavu taveniny až po tuhnutí hmoty nemůže být ale vyrovnán. Tlakové efekty pomocí cíleného snižování uzavírací síly popř. pomocí metod snižování tlaku vytváří vyrovnání jen částečně. Proto je v případě rozdílných tloušťek stěn, žebrování apod., nutno počítat s nedostatečným plněním, špatnou kvalitou spojení atd. U plošných lisovaných dílů s přibližnou konstantní tloušťkou stěny je ale tato metoda zcela bez výhrad použitelná.

2.4. Přípravné operace (úprava povrchu vkládaných materiálů)

Před vložením fólie do vstřikovacího stroje je z povrchu fólie odstraněn prach a nečistoty ionizovaným vzduchem. Fólie se vkládá ručně, aby se docílilo přesného a racionálního zhotovení. Ve vstřikovací stroji se fólie drží buď pomocí své geometrie nebo je někdy potřebné vylepšit přidržení jinými opatřeními (např. elektrostatickým nabitím, mechanickým přichycením, apod.). U větších součástí se musí brát zřetel zvláště na tvorbu záhybů, nebezpečí setření barev, prodlení, delaminace (laminace = potahování průhlednou fólií) a přetékání materiálu ve viditelné oblasti. V případě tvorby záhybů v oblasti spojů má velký vliv materiál fólie, tloušťka fólie a mezery mezi nářezy. Tvorba záhybů může být odstraněna použitím vhodnějšího materiálu, zvýšením tloušťky fólie a optimalizací prodlev. V zásadě platí, že se nemohou vyrábět optimální díly, pokud se nezmění stávající vstřikovací nástroje, které budou využívány při pozdějším vstřikování. Kvůli redukci tloušťky fólií a kvůli reologickým požadavkům musí být minimálně použit nový systém nařezávání. Doporučuje se odpovídající opatření pro vstřikování fólií zohlednit přímo v koncepci nástrojů.

Při vytváření předběžného tvaru fólie je třeba zohlednit také její úbytek, který závisí na druhu a průměru fólie, teplotě a geometrii vstřikovacího nástroje. Fólie musí po předtvarování co možná bezchybně přiléhat na vstřikovací nástroj, jinak se musí počítat s problémy při zastřikování (např. tvorba záhybů, defekty povrchu, nepřesnosti při zastřikování). Proces předtvarování fólií může probíhat za tepla nebo za studena.

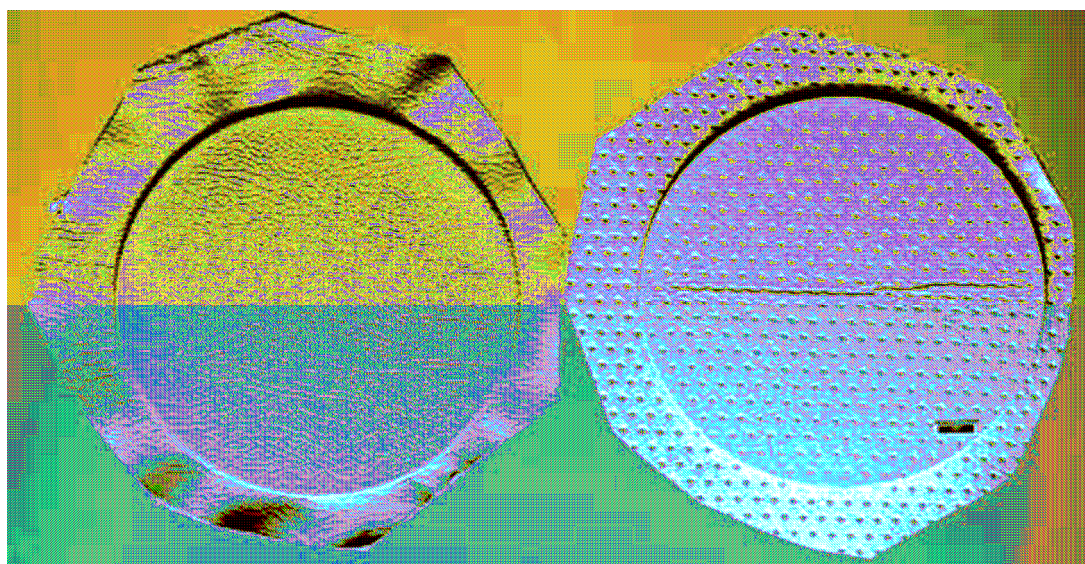
Důležitým momentem z hlediska předtvarování fólií bylo vyvinutí postupu, kdy k deformaci dochází ještě pod teplotou, než dojde k rozmočení barev. Vytištěné symboly tak zůstanou přesně na svých pozicích, resp. zkreslený tvar je konstantní. Při procesu *High Pressure Forming* (vysokotlaké předtvarování) je potištěná fólie

deformována pod touto teplotou najednou tlakem vzduchu od 5 do 30 MPa. Ve srovnání s předtvarování fólií za tepla je stupeň, při kterém dochází k přetváření, za studena, nižší. Při dekoraci dílů, u kterých nezáleží na přesné pozici dekoru (např. dekor dřeva), se používá předtvarování za tepla. Při předtvarování za tepla se fólie zahřeje a ve vakuu se formuje. V následujícím kroku se fólie znovu zchladí na pokojovou teplotu. Použitá forma musí být přitom temperována, aby byla v procesu zaručena opakovatelnost smršťení a nezůstávaly stopy na formě po formování.

2.5. Vlastní proces IN-MOLD technologie

Problémy spojené s In-Mold technologií jsou: 1. tečení plastu dutinou formy, 2. vliv tlaku taveniny, její teploty a 3. rychlosti na vložený materiál a na napětí v plastu, ve vloženém materiálu a 4. vliv adheze v konečném výrobku. Největší změna nastává u textilií, kde je vliv tečení taveniny na posun jednotlivých vrstev největší. Textilie a tkaniny z různých materiálů jsou do formy většinou umístěny předem, a tím se dá velice dobře řídit orientace vláken a jejich hustota ve výsledném dílu. Procentový obsah vláken musí být vysoký, neboť se musí zabránit tomu, aby polymer odplavil vyztužující vlákna mimo původní umístění. Vstříknutím plastu změní svou polohu asi 30 % vláken.

Výroba probíhá v současnosti dvěma způsoby. Prvním z nich je použití rozsekaných vláken v kapalném pojivu, které se nanášejí na povrch formy a následně se zastříknou plastem a nebo se plast vstříkne na souvislou tkaninu. Prvním technologickým postupem se dají dosáhnout složitější tvary, avšak je zde menší možnost řízení orientace vláken a tento postup je velice pracný, zatímco druhý postup je mnohem lépe automatizovatelný, ale může vést k nepříjemným změnám hustoty v různých místech vyráběného dílu. Aby nedocházelo k výraznému deformačnímu chování vloženého materiálu, které může vést až k protržení vloženého materiálu (viz. obr.2.18.) nebo k protečení taveniny plastu, musí být tlak taveniny co nejnižší (viz.kap.2.10.).



Obr. 2.18.: Vliv zvoleného materiálu pro vnější povrch výrobku na jeho protržení
vlevo – vhodný materiál, vpravo – nevhodný materiál

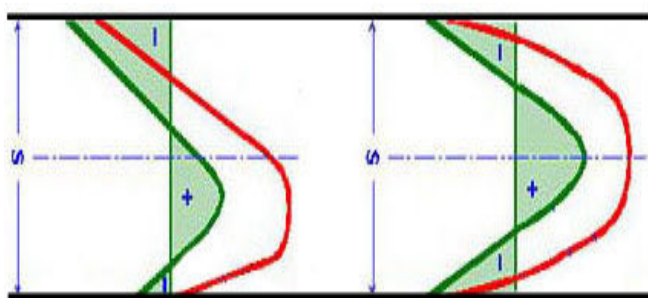
Všeobecný problém vyplývá z toho, jak se dekorační materiál chová vůči proudící tavenině v nástroji. Kombinace tlaku, teploty taveniny, smykového napětí a teploty nástroje vede k namáhání dekoračního materiálu, který tomuto více či méně dobře odolává. Dekorační materiály pro tyto účely se často skládají z více vrstev, jejichž schematická skladba je zřetelně uvedena na příkladech v tab. 2.1. Viditelná plocha může být z polyesteru, polyamidu nebo z bavlněné textilie (tkanina, pletenina, rouna) nebo z ASA-fólie nebo PVC-fólie. Designéři využívají rozmanité možnosti pro vytvoření vzhledu a optiky. Pod vrchním materiálem je často ještě mezivrstva, např. z polyuretanu nebo PVC-pěny, která zajišťuje tzv. *Soft-Touch-Effekt* (měkký efekt), současně slouží tato mezivrstva ke spojení mezi vrchním a spodním materiálem. Mezivrstva má za úkol, zabránit vniknutí taveniny do vrstvy a posunutí dekoračního materiálu při vstřikování. Spodní materiál ovlivňuje tepelnou izolaci mezi vrchním materiálem popř. mezivrstvou a mezi proudící taveninou a vede k mechanickému vyztužení taveniny v dekoračním materiálu. Většina dekoračních materiálů je citlivá jak na tlak, tak i na teplotu. Tlak se zvýší téměř vždy se zvyšující se teplotou. V dekoračním materiálu je možné dosáhnout oproti běžné technice vrstvení té výhody, že dodatečné lepicí prostředky, které mohou vést k nežádanému

Tab. 2.1.: Skladba stříkaného dekoračního materiálu

skladba	běžné rozměry	materiál	funkce
vrchní materiál	fólie 0,25 až 1 mm textil 0,25 až 4 mm	textil(např.polyestero vé vlákno) folie (PVC, ABS, ASA apod.)	dekorace
mezivrstva	1 až 3 mm	PUR-pěna, PVC-pěna	spojení vrchního a spodního dílu
Spodní materiál	0,5 až 1 mm	Rouno (např. polyesterové vlákno)	tepelná izolace vůči tavenině , stabilita horního materiálu vůči posunutí, ukotvení taveniny
Nosný materiál	1,5 až 2,5	ABS (ABS+PC)-Blend	tvarování,pevnost lisovaného dílu

vypařování, nejsou nutné. Srovnáním teplotní odolnosti např. polyesterového vlákna ve vrchním materiálu (dlouhodobě 190 °C, krátkodobě 210 až 240 °C) s masovými teplotami termoplastů (220 až 270 °C) je jasné, že ochrana vrchního materiálu je požadována. Tato ochrana je ale nevyhnutelná pro mezivrstvu, pokud se použije nutně PUR-pěna. Pro PUR-pěnu (polyesterovou pěnu) je zatížení teplotou nad 150 °C nebezpečné, PVC-pěna je ještě citlivější. Pro textílii je to nezbytné.

Dalším výrazným problémem je v další fázi procesu – ve fázi chlazení - změna přestupu tepla do nástroje vlivem vložené další vrstvy, která zabraňuje dotyku taveniny plastu se studeným povrchem vstřikovací formy (viz. obr.2.19.). Nastává nejenom nerovnoměrný odvod tepla, ale i nerovnoměrné tečení, kdy vlivem vloženého materiálu je délka toku delší (závisí to právě na kvalitě povrchu vloženého materiálu nebo mezivrstvy) a zpomalený odvod tepla z dutiny vstřikovací formy, tedy nižší tloušťka zamrzlé vrstvy.



Obr. 2.19.: Rozložení napětí (zeleně) a teploty (červeně) pro proces tečení u vloženého materiálu (vlevo) a u klasického způsobu vstřikování (vpravo) velmi málo pracovních kroků

2.5.1. Použití a příklady aplikace technologie IN-MOLD

Při metodě zastřikování textilních dekoračních materiálů poskytuje strukturovaný povrch dutiny nástroje o mnohem lepší dekorační povrch než hladká nebo leštěná dutina. Jako první to použila firma *Georg Kaufmann Formenbau AG*, Busslingen / Švýcarsko. Pokusy, které provedla firma *Kaufmann* na vnitřním obložení dveří ukazují, že jak kvalita povrchu textilu, tak také barva textilu zůstaly nezměněny (viz.obr.2.20). Praktický význam má tato možnost pro vylepšení dekoračních povrchů při výrobě obložení sloupků, vnitřních obložení dveří apod.



pomocí textilních dekoračních materiálů – pro vnitřní výbavu motorových vozidel. Doposud se musel pro takovéto díly používat vícevrstvý dekorační materiál.

Obr. 2.20.: Příklad obložení dveří u BMW

Přitom podkladový materiál, který je nasazován na zadní stranu slouží k tomu, aby chránil textil proti přílišnému namáhání při výrobě lisovaných dílů. Tyto vyšší náklady vznikají prostřednictvím zvýšených nákladů na dekorační materiál a mohou být v případě použití vstřikovacího nástroje se strukturovaným povrchem dutiny zcela vyloučeny nebo alespoň podstatně redukovány. A současně vykazuje povrch vstřikovaných dílů dokonalejší textilní strukturu bez lesklých míst.

2.5.2. Efekt suchého zipu

Umístění fólie do formy před vstřikováním je velmi kritické, neboť pohyb během samotného procesu vstřikování by mohl způsobit nevratné poškození vyráběného dílu a jeho následné zamítnutí kontrolou. Tažení pokovovaných fólií je omezeno na 15 mm tloušťky. Fólie musí přilnout k dílu po jeho zpracování. Toho lze dosáhnout použitím tepelně aktivované adheze či průnikem roztaveného materiálu do podkladu látky, čímž se vytvoří mechanické spojení „povrchového kompozitu. Při provádění pokusů byl nástroj pro vstřikování vnitřního obložení dveří opatřen různými strukturami. Tímto způsobem bylo možno posoudit a vyhodnotit účinky vzájemného působení mezi povrchem dutiny a povrchem dekoračního materiálu. Přitom se ukázalo, že zaoblená struktura na způsob líce kůže projevuje jen nepatrný účinek.

Nejlepší výsledky pro kvalitu povrchu dekoračního materiálu byly zjištěny u drsné, rozštěpené struktury – silně zvětšené – která připomíná hornatou krajinu. Rozhodující pro efekt povrchu by mělo být to, že se vlákna látky textilního povrchu pomocí „efektu suchého zipu“ uchytí do drsného povrchu nástroje. Když budou vlákna pomocí vysokého namáhání tlakem stlačeny do oblasti dutin nebo budou stlačeny pomocí nevyhnutelného posunu dekoračního materiálu na povrch lisovaného dílu, tak se opět vrátí do původní polohy velký počet vláken pomocí zvýšené přilnavosti ve struktuře povrchu při otevření nástroje.

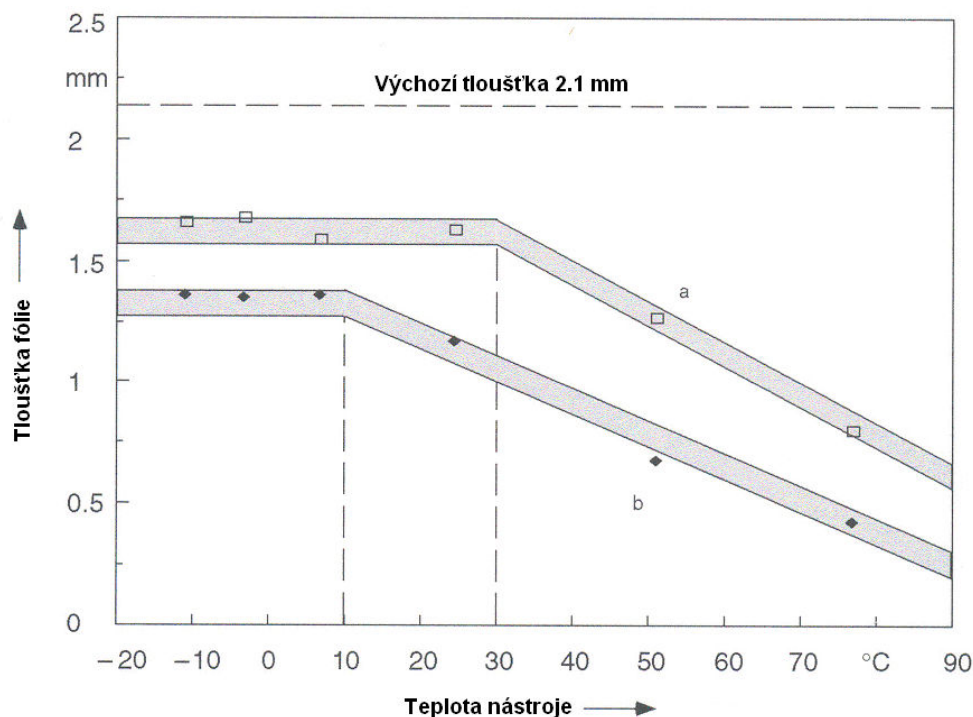
Závěry jsou pak takové, že u stroje pro vstřikování s uzavírací silou 4200 kN byla vyvinuta uzavírací síla tak, že:

- je možno uvedených vylepšení povrchu dosáhnout také u cenově výhodných dekoračních materiálů bez kašírování pomocí rouna,

- pomocí strukturované dutiny nástroje je možné dosáhnout lepšího dekoračního povrchu (jak při vstřikování pomocí otvírání a opět zavírání nástroje tak i při přímém vstřikování v uzavřeném nástroji),
- také metoda u dekoračních látek se zadní stranou z pěny (Soft-Touch-Dekor) vede k lepší kvalitě povrchu, je možno vyrábět např. „airbagy“

2.5.3. Kvalita dekorace – deformace vkládaného materiálu

Deformace vloženého materiálu po vstřikování, závislé na vstupním tlaku (a včetně možnosti vrácení do původní polohy dekoračního materiálu), budou viditelné jako změny v tloušťce, lesku, ve struktuře tkaniny, apod. Z toho jednoznačně vyplývá požadavek na minimální tlak, během vstřiku, tedy na nízkotlaké vstřikování. Na příkladu PVC-pěnové fólie (viz. obr. 2.21), jak se projevuje u fólie citlivost na teplotu pomocí snížení teploty nástroje. Obr. 2.21. popisuje zbylou tloušťku fólie v blízkosti vstřiku a daleko od vstřiku pro různé teploty nástroje. Se snižující se teplotou formy se zvyšuje zbylá tloušťka fólie. Na tomto příkladu bylo 10 °C pod teplotou nástroje dosaženo hranice, pod kterou se tloušťka fólie již dále nezvyšuje.



Obr. 2.21.: Souvislost mezi teplotou nástroje a zbylou tloušťkou PVC-pěnové fólie (výchozí tloušťka 2,1 mm), vstřikovaná pomocí PC+ABS (Bayblend T 64)
a) daleko od vstřiku, b) blízko od vstřiku

Zde uvedené výsledky jasně ukazují, jak působí teplota a tlak na dekorační materiál. Příčinou úbytku tloušťky pěnové fólie je dílčí tavení stykové plochy a neúplné vrácení do počáteční polohy po stlačení. Kvantitativní přenos na jiné dekorační materiály není možný, polyesterové textilie se v podstatě chovají nekriticky. Nějaké významné snížení plnicího tlaku kvůli izolačnímu působení dekoračního materiálu (tenčí zamrzlá - ztuhlá krajní vrstva) - viz.kap.2.5., obr. 2.19., se u relevantních tloušťek stěn od 1,5 mm neočekává. Pod touto tloušťkou je však vliv významný.

2.6. Ořezávání zastříkovaných materiálů

Oříznutí fólie, textilie apod. na okrajích a v mezerách je pro výrobu kvalitních dílů stejně důležité jako předtvarování fólie. Každý přesah fólie na okraji dutiny později nutně vede k nepřesným a nečistým hranám a k jejich poškození. Přílišné oříznutí fólie vede k tomu, že může být na okrajích dílů viditelný nastříkovaný materiál. Pro výrobní série se nabízí použití raznice nebo vystřížení ve svazku, pro malé série je možné použít frézu nebo paprsek (laserový, vodní).

2.7. Vkládaný materiál a jeho vliv na povrch

Dekorovaná fólie nebo textilie (vložený materiál) vytváří na hotovém dílu optický povrch. Ten může být proveden jednobarevně, v podobě vícebarevných dekorů, v podobě v dodatečné integrace se symboly, speciálně s metalickým efektem, apod. U fólií potištěných zepředu je potištěná vrstva na vnější straně dílů a musí být vzhledem k vysokým nárokům na mechanické opotřebování dodatečně ochráněna proti poškrábání ochranou vrstvou. V případě fólií potištěných zezadu je dekor chráněn vnější průsvitnou fólií a umožňuje velmi vysoký lesk. V případě dodatečných nároků (např. na UV - stálost nebo na odolnost vůči různým médiím) mohou být použity další vrstvy fólií, které vykazují požadovaný profil vlastností.

2.8. Konstrukce a návrh dílů pro technologii IN-MOLD

Požadavky na plastové díly jsou rozmanité. Kromě požadovaných vlastností a požadovaného designu musí dnes plastové díly splňovat další požadavky na úpravu

povrchu (např. dekor, příjemný pocit na dotyk). Tyto díly jsou opatřeny mnohonásobným povrchovým „potáhnutím“, odolným proti odření a poškrábání, které umožňuje vysokou rozmanitost a sytost barev a plošné dekory nebo symboly. Zejména kvůli flexibilitě (kombinace plastového dílu a funkční fólie) nabízí tato technologie zajímavou možnost, jak mohou být upravovány povrchy plastových dílů. Použitím fóliových systémů může být současně realizována odolnost proti poškrábání, vysoká rozmanitost a sytost barev, symbolů a průsvitnost. Při navrhování a konstrukci komponentů, které budou vyrobeny prostřednictvím technologie In-Mold, je třeba minimalizovat ostré hrany či hluboké tažení materiálu. Tyto prvky se totiž jen velmi těžko tvarují přímo ve formě a jejich použití vyžaduje předtvarování plastu ještě před jeho zavedením do formy.

Příliš velká hloubka dílu pak vyžaduje aplikaci plastu s vysokým stupněm „roztlačnosti“, což pak vede k neúměrnému zeslabení materiálu a možným vzhledovým následkům na povrchu výrobku. Přejít mezi jednotlivými vrstvami (tloušťkou stěn) musí být plynulý s přechodovým poměrem 60 %. Doporučuje se minimální poloměr 1,0 mm. Menší poloměr může vést k problémům s přilnutím a rovněž ke vzniku oblastí, které se budou jen velmi těžko vyplňovat. Zářezy se jen velmi obtížně zastříkují a měly by tedy být eliminovány.

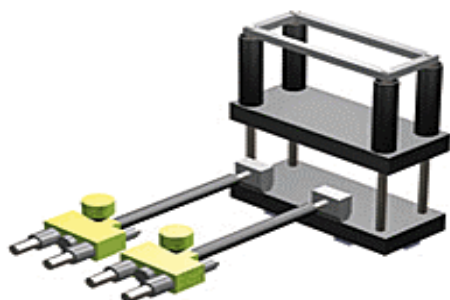
Při konstrukci výrobků je třeba zvážit umístění dělicí roviny. Ta by měla být samozřejmě umístěna tak, aby negativně neovlivňovala estetický dojem z výrobku. Pokud bude nezbytné odřezávání přebytečného plastu z výrobku, je s tím rovněž třeba počítat již při navrhování výrobku a zajistit, aby jakékoliv odřezávání probíhalo mimo vzhledové oblasti výrobku.

In-Mold se jen velmi obtížně používá u dílů s ostrými hranami, okolo kterých musí být plast aplikován s úhly většími, než 90°. V některých interiérech vozů jsou komponenty (jako například B sloupek), které vyžadují úhel 180°. U těchto komponentů se pak obvykle vyžaduje ještě řezání či jiné upravy konečného produktu jako druhotná operace.

Technologie In-Mold nabízí řadu možností pro návrháře výrobků, jak přidat svým výrobkům hodnotu. Do výrobního procesu lze začlenit textury, odstínění EMI/RFI a další speciální efekty, jako například podsvícení či loga – to vše lze velmi levně provést v rámci technologie In-Mold.

2.9. Formy

Stroje sestávají z vertikální tlakové jednotky, která lisuje a z jedné nebo více horizontálně se pohybujících vstřikovacích jednotek s otočnými hlavicemi. Stroje umožňují velice přesné dávkování. Používají se při výrobě dekoračních dílů v jediné operaci bez adheziv. Požadavek nízkého tlaku zachovává vytvořenou dekoraci. Všechny možné procesy lze provést jako nízkotlaké vstřikovací procesy a nebo jako



nízkotlaké vstřikovací kompresní procesy. Výhodou je nejenom úspora plastu, vyztužení výrobku, ale i redukce tlaku a tedy vnitřních pnutí.

Obr. 2.22.: Schéma konstrukce vertikálního stroje

Pro některé vstřikované díly nejsou vysoké vstřikovací tlaky a rychlosti vstřikování nutné nebo dokonce jsou i nepříznivé. Je potřeba nízkých tlaků a rychlostí k tomu, abychom dosáhli optimálních výsledků v kvalitě vstřikovaných dílů nebo v ekonomickém využití. Aby bylo možné využívat technologii In-Mold co nejefektivněji, je třeba zvážit její využití již v samém počátku navrhování výrobku. Jedním z důvodů je ten, že formy, které se obvykle využívají pro aplikaci technologii In-Mold jsou poměrně složité a nákladné. Film či fólie se připevní na pohyblivou desku vstřikovacího stroje. Dekorovaný povrch pak musí být vylisován v dutině, která je v kontaktu s pohyblivou deskou lisovacího zařízení. Musí být vytvořen speciální systém, který umožní protlačení materiálu jednotlivými komorami formy. Komponenty využívané k prolisování materiálu musí být navrženy tak, aby nijak nepoškodily fólii či film. Tyto mimořádné požadavky mají za následek až o 50 % vyšší náklady na výrobu forem v porovnání s běžně využívanými formami. U výlisku s třemi a více barvami se ale technologie In-Mold prokáže jako podstatně levnější v porovnání s ostatními procesy, které se obvykle používají.

Cílem konstrukce je, aby byly viditelné hrany vstřikovaného dílu v procesu vstřikování pokryty dekoračním materiálem, za tím účelem by měl být dekorační materiál zahnutý pod 180° kolem hrany lisovaného dílu. Jako řešení pro geometricky jednoduché lisované díly a pro zvolené dekorační materiály je možné, připravit dekorační materiál tak, aby byl vložen do nástroje pro vstřikování včetně

natvarovaných vaků. U geometricky komplikovaných lisovaných dílů je vhodné provést přesunutí dekoračního materiálu pomocí posunovače v nástroji. Pro toto nejsou však předloženy žádné praktické zkušenosti. Nevýhodou přitom je, že nevyhnutelné pnutí dekoračního materiálu v dělicí rovině nástroje vede k přečnívajícímu okraji dekoračního materiálu na lisovaném dílu, který musí být seříznut. Toto dodatečné opracování představuje také u dílů, které nemají integrovanou obalovou vrstvu, problém, který se nedá zatím uspokojivě vyřešit. Toto seříznutí okraje není potřebné, když přesunutí dekoračního materiálu na okraji lisovaného dílu probíhá během uzavíracího pohybu nástroje. Důležité je také uložení a držení dekoračního materiálu v nástroji. Pro nutnou automatizaci byla ze strany výrobce strojů pro vstřikování nabídnuta řešení. Pokud se pracuje s kaskádovým řízením, musí stroj pro vstřikování umožňovat odpovídající řízení otevírání a uzavírání trysek hradlového uzávěru v závislosti na šnekovém dopravníku.

2.10. Problémy a vady u IN-MOLD technologie

Detailní problémy, které jsou uvedené v tabulce 2.2., se dají posuzovat pomocí jednoduchých pravidel. U vstřikování se nabízí možnost zjištění negativních

Tab. 2.2.: Sestavení problémů u HST, které se dají odstranit pomocí jednoduchých nástrojů (Screening-metoda)

problém, vada	možnosti odstranění
výběr z termoplastu a dekoračního materiálu počet nástřiku tloušťka dutiny	nástroj na lití vstřikem 400 x 70 mm, tloušťka proměnná
tvoření nerovnosti nad spojem	kruhový výřez
propadliny Poměr tloušťky stěny k tloušťce a výšce žebrování	žebrovaná deska

účink

ů na dekorační materiál v závislosti na délce toku při určené tloušťce při postupu plnění. U dílčích plnění se pracuje bez stlačování (komprese), praktikuje se tedy nízkotlaké vstřikování.

Na obr. 2.23. je znázorněno, jak se mění povrch kůže se zvětšující se délkou dráhy toku. Pomocí srovnání s požadovaným standardem se může stanovit buď maximálně realizovatelná délka toku (z toho vyplývá počet potřebných naříznutí na lisovaném dílu) nebo bude dekorační materiál cíleně upraven tak, aby byla umožněna větší dráha tečení plastu. Také výběr vhodných termoplastů může být úkolem k dalším experimentům. Tímto způsobem mohou být vyjasněny všechny problémy dekoračních materiálů, způsobené namáháním tlakem a teplotou. Problematické je také stanovení výšky dutiny nástroje pro danou tloušťku vstřikovaných dílů. Tuto výšku je nutno při vstřikování pokusně odhadnout (experimentálně ověřit). Důvod spočívá ve změně šířky dutiny pomocí dekoračního materiálu ležícího v dělicí rovině. Jeho tloušťka je závislá na uzavírací síle a na nosné ploše. Navíc se mění tloušťka dekoračního materiálu během procesu vstřikování. Pomocí testovacího nástroje, u kterého se mění tloušťka, je možné nasimulovat všechny nutné mezní podmínky, aby bylo možné předpovědět nutnou výšku dutiny.



Obr. 2.23.: a) Posouzení povrchu kůže pomocí 400 mm dlouhého příložníku
b) místa v oblasti blízko od vstřiku
c) místa v oblasti daleko od vstřiku

Tvoření nerovností v dekoračním materiálu je problém, který je nutno mít na zřeteli při často nutném vícenásobném napojení a při posunu dekoračního materiálu.

Pomocí desky, u které je možno nastavit tloušťku a u které je proveden 2x nástřik (na obr. 2.19. je možno pozorovat tvoření nerovností). Protiopatření jako předpínání nebo úprava dekoračního materiálu se mohou jednoduše odzkoušet. U trojrozměrných, zakřivených vstřikovaných dílů může být problematické tvoření nerovností při přílišném protažení při vyduuté geometrii. Pro toto je předběžná zkouška skoro nemožná. Až u prototypového nástroje je možno dosáhnout významných výsledků. U vstřikování bez následného tlaku se nedá zabránit propadlinám na žebrování a na změnách tloušťky stěn. U vhodného dekoračního materiálu nejsou ale viditelné tak, že by narušovaly vzhled povrchu. K testování se hodí deska, u které se dá tloušťka nastavit a která má na zadní straně žebrování o tloušťce 1,5 až 4 mm. Tím se dá ověřit, zda jsou propadliny viditelné. Výsledek tak ukazuje, jaký poměr je povolený mezi tloušťkou stěny a žebrováním a zda musí být tloušťka a tvrdost dekoračního materiálu nějakým způsobem upravená. Tato předběžná zkouška se třemi testovacími nástroji již ve fázi plánování nového vstřikovaného dílu zajišťuje informace o možnosti realizace, o technických problémech s tím spojených a zkouška také sděluje důležité pokyny pro konstrukci nástroje a pro výběr dekoračního materiálu.

2.11. Konkrétní aplikace a použití technologie IN-MOLD

Nižší váha hotového výrobku ve srovnání s výrobou jinými technologiemi, jednoduchá pracovní operace a větší volnost při navrhování výrobků – to jsou důvody, proč je technologie In-Mold tak široce využívána právě v automobilovém průmyslu. Využívá se především k aplikování dekorativních filmů, fólií, textilií a dalších elementů v rámci procesu vstřikování plastových dílů, bez nutnosti často velmi nákladných dodatečných procesů či operací. Patří sem např.: ovládací prvky klimatizace či rádia, které se vyrábí s využitím dekoračního polykarbonátové fólie, součásti a díly palubních desek, ale i spotřebního zboží jako jsou např.: helmy, kryty mobilních telefonů. Rovněž výroba mřížky ventilace ABS využívá dekorovaný film aplikovaný přímo do formy bez nutnosti provádět více pracovních operací. Automobilový průmysl nabízí skvělou příležitost, jak využít technologii In-Mold a vyrábět komponenty se zabudovanými ventilačními mřížkami či panely v rámci jednoduché pracovní operace.

Tento proces rovněž nabízí obrovskou příležitost pro snadné odlišení jednotlivých modelů aut pouhou výměnou aplikované fólie – což je velmi levná alternativa ve srovnání s nutností vyrábět více sad přípravků a nástrojů pro různé modely. Na obr. 2.24., 2.25., 2.26., 2.27., 2.28. je vidět příklad aplikace In-Mold technologie.



*Obr. 2.24.: Ford Focus
– ovládací prvky na
topení a ventilaci*



Obr. 2.25.: Ford Fiesta – část přístrojové desky



Obr. 2.26.: Zpětná zrcátka

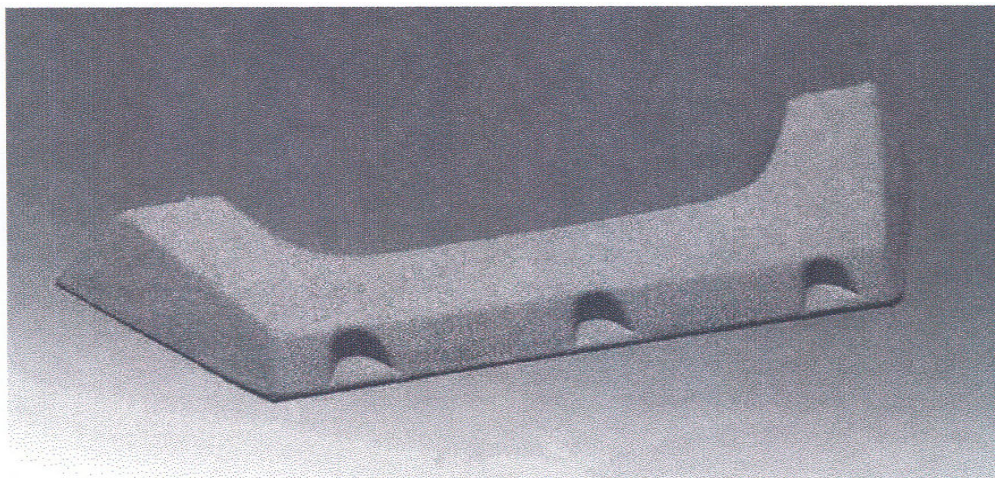


*Obr. 2.27.: Dekor dřeva nebo hliníku pro
vnitřní prostor vozidla*



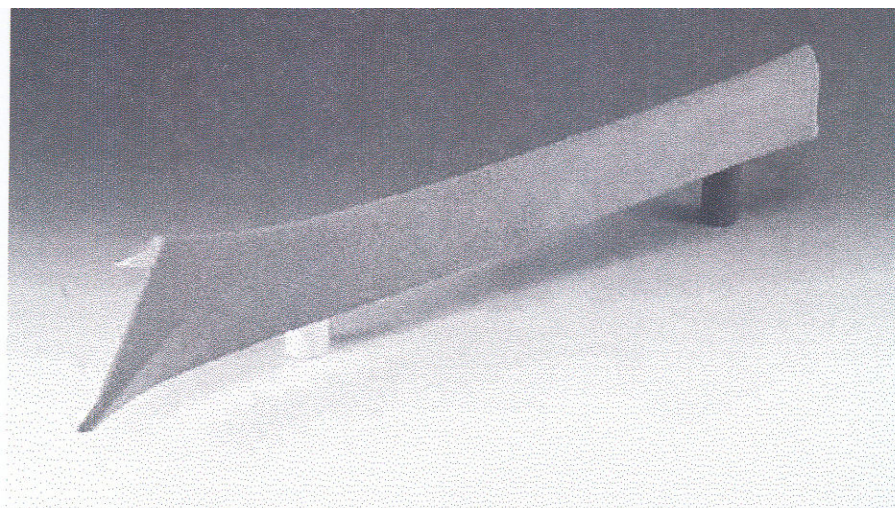
Obr. 2.28.: Cyklistické přilby

Boční kapsa dveří z materiálu ABS na obr. 2.29. s relativně ostrými hranami a vyhloubením byla úspěšně vyrobena metodou HST z různých dekoračních materiálů, také z kůže.

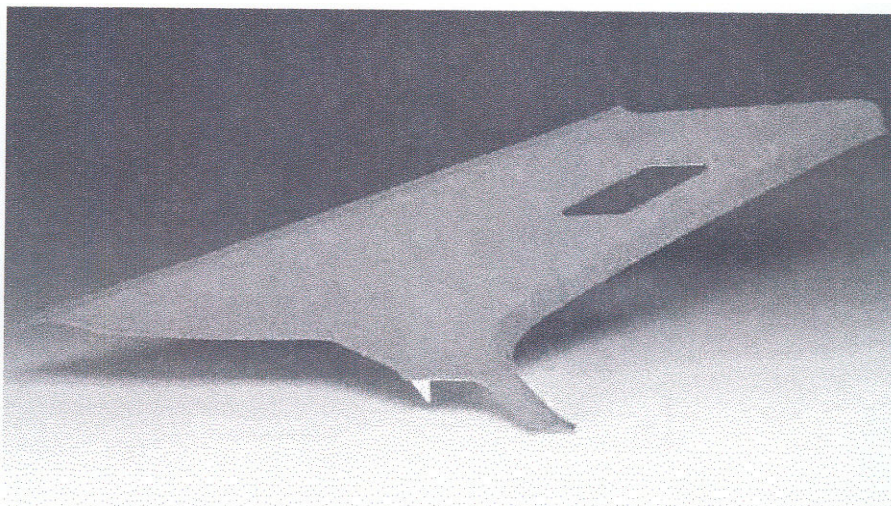


Obr.2.29.: Boční kapsa dveří vyrobená technikou HST z materiálu ABS (typ Novodu®) s textilním dekorem.

Pro obložení sloupů se používá materiál (PC+ ABS)-blend – již dlouho osvědčený materiál, který se používá v sériové výrobě pro technologii vstřikování. Obrázky 2.29. a 2.30. představují obložení sloupků A a C, které byly vyrobeny z tohoto materiálu v sériové výrobě. Na povrchu nevidíte žádné narušení prostřednictvím řezů, spojů a žebrování.



Obr. 2.30.: Sériové použití HST: A – obložení sloupků pro osobní automobil (BMW), materiál (PC+ABS)-blend, typ Bayblend T 64



Obr.2.31.: Sériové použití HST: C – obložení sloupků pro osobní automobil (BMW), materiál (PC+ABS)-blend, typ Bayblend T 64

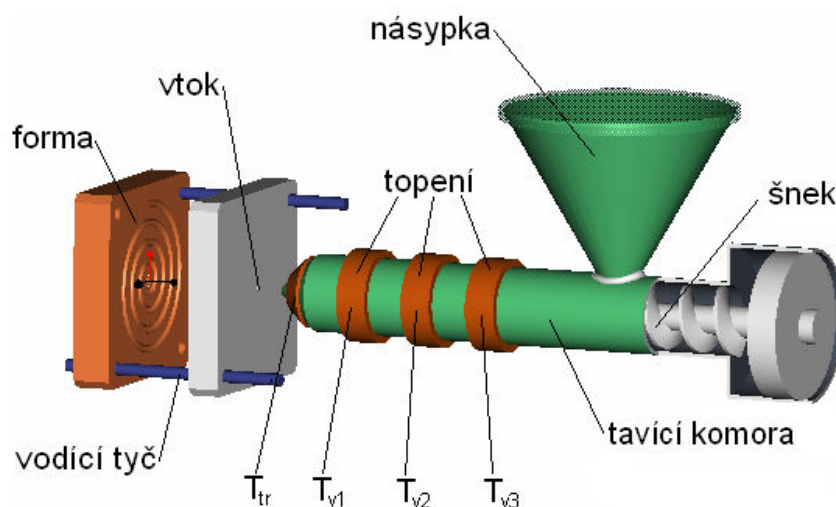
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části diplomové práce jsem provedl vlastní experimentální měření u In-Mold technologie, a to: 1. vlivu vybraného technologického parametru – vstřikovacího tlaku, 2. vybraného parametru týkajícího se vkládaného materiálu - tloušťky a textury na konečnou kvalitu hotového výrobku a 3. tloušťky zkušební vzorku na kvalitu povrchu a na reologii procesu.

Diplomová práce se zabývá použitím a hodnocením vlastností použitých vkládaných materiálů (vnější povrch konečného dílu), které se podílejí na kvalitě konečného výrobku svou schopností deformace (vliv tlaku taveniny na soudružnost), svojí tloušťkou (při malých tloušťkách je proces tečení složitější a klesá i význam dotlakové fáze), adhezí, texturou a hladkostí povrchu na straně taveniny plastu (vliv na proces tečení, na studené spoje, deformaci a nebezpečí protržení).

3.1. Podstata experimentálního měření

Experimentální měření bylo na začátku rozděleno do tří samostatných činností, které však na sobě bezprostředně závisí a které za sebou časově navazují. V první fázi byly zkušební vzorky vkládaných materiálů připraveny (nastříhání, volba orientace, apod.) pro technologii vstřikování. Ve druhé fázi bylo provedeno vlastní vstřikování vybraného plastu (viz. obr. 3.1 a kap. 3.2) do formy pro spirálovou zkoušku zabíravosti (viz. kap. 3.4), kam byly vkládány různé materiály, které tvořily povrchovou vrstvu spirály. Ve třetí fázi bylo provedeno vyhodnocení délky zatečení a vyhodnocení kvality povrchu po provedené technologii vstřikování.



Obr. 3.1.: Princip měření u spirálové zkoušky zatékavosti

3.2. Použitý materiál pro vstřikování

Pro zastřikování zvolených materiálů byl vybrán materiál polypropylén (PP) KELBURON 95610 od firmy SABIC EUROPE. Materiálový list použitého plastu je v tabulce 3.1. Sabic PP 95610 je reaktorově elastomerem modifikovaný plast, který má excelentní rázovou odolnost při nízkých teplotách a je vysoce atraktivní alternativou pro uplatnění neplněných „compoundů“ při aplikaci v automobilovém průmyslu.

Tab. 3.1.: Materiálový list PP Kelburon 95610

Vlastnosti	jednotky (Si)	hodnota	zkouška
Fyzikální vlastnosti			
Index toku taveniny (ITT) při 230 °C a 2.16 kg	g/10 min	6.0	ISO 1133
hustota	kg/m ³	900	ISO 1183 ASTM D 696
koef.lineární teplotní roztažnosti 23 °C do 80 °C	μm/mK	-	
-30 °C do 30 °C	μm/mK	120	
smršťení 1) 24 hodin po vstřikování	%	1.5	SABIC metod
Mechanické vlastnosti 1)			
tahová zkouška 2) tlak při tlak při prasknutí napětí při prasknutí	MPa MPa %	18 20 500	ISO 527
ohybová zkouška 3) ohybový modul	MPa	800	ASTM D 790
vrubová zkouška dle Izoda 4) při 23 °C při 0 °C při -20 °C	kJ/m ² kJ/m ² kJ/m ²	N.B. N.B. 15	ISO 180/4A
vrubová zkouška dle Charpy 5) při 23 °C	kJ/m ²	N.B.	ISO 179/1eA
rázová zkouška dle Charpy při -40 °C	kJ/m ²	N.B.	ISO 179/1eU
tvrdost podle Shore D	-	58	ISO 868
Teplotní vlastnosti			
teplota v ohybu při 0.45 MPa (HD T/B)	°C	65	ISO 75/B
teplotní odolnost podle Vicata při 10 N (VST/A)	°C	130	ISO 306/A

1. všechna měření na vstřikovaných vzorcích, 2. rychlost testování: 50mm/min, vzorek ISO 527-5, 3.2 mm, 3. 3-bodové zatížení, 4. bez zlomu, 5. u vrubu, bez zlomu

3.3. Použitý vstřikovací lis

Vlastní experiment byl proveden na vstřikovacím lisu ENGEL Victory HL 80/25 (viz. obr. 3.2.), parametry (viz. tab. 3.2)

Tab. 3.2. : Parametry vstřikovacího stroje Engel Victory HL 80/25

uzavírací síla	250 kN
vstřikovací kapacita	100 cm ³ /s
vstřikovací tlak	115 MPa



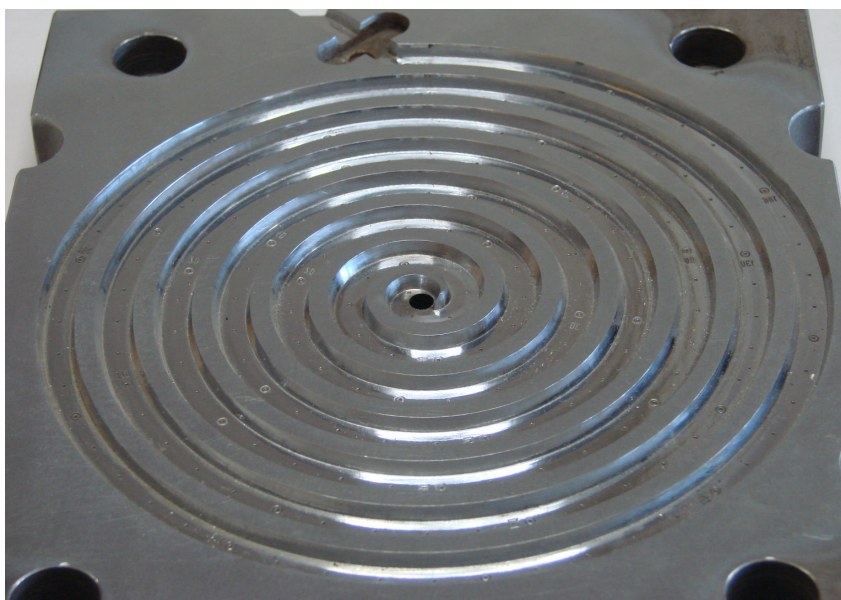
Obr. 3.2.: Vstřikovací lis Engel Victory HL 80/25

3.4. Použitá vstřikovací forma

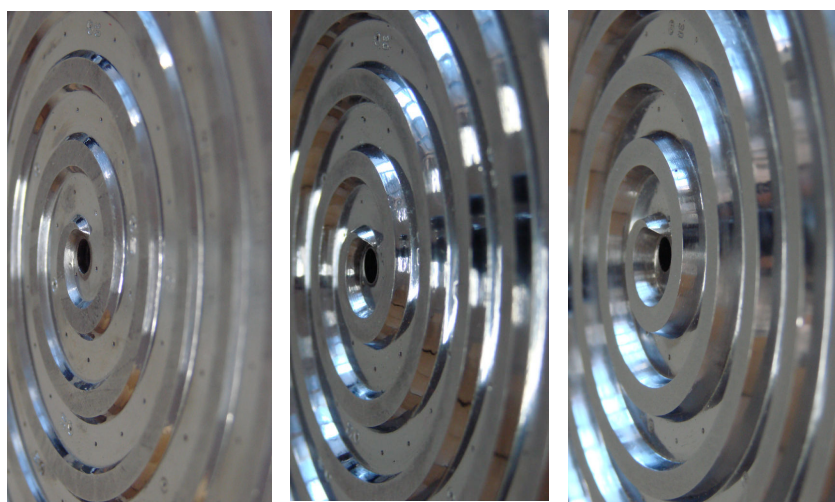
Forma byla zvolena jedna z částí modulové vstřikovací formy, kterou se na katedře strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů, používá k výrobě zkušebních těles, k hodnocení vzhledových vlastností, k hodnocení tekutosti a k hodnocení rozměrových parametrů.

Z možných výměnných desek byla pro hodnocení účinku vstřikovacího tlaku ve vztahu k reologii plastu a typu vkládaného materiálu vybrána forma pro technologickou zkoušku spirálové zatékavosti (viz. obr. 3.3. a obr. 3.4) a to hned ze tří důvodů. Prvním z nich byl snadný proces měření délky zatečení, druhým důvodem byla snadná možnost výměny desky s rozdílnou tloušťkou tvarové dutiny a třetím důvodem bylo velmi snadné zakládání zvolených materiálů.

Vstřikovací forma je dvoudesková s plným středovým vtokem, který je součástí spirály. Chlazení je na pevné straně provedeno čtyřmi průběžnými kanály o průměru 8 mm, na pohyblivé straně je provedeno oběhové chlazení ve tvaru spirály. Teplota temperačního média byla nastavena tak, aby teplota formy, měřená bezdotykovým pyrometrickým přístrojem, byla 60 °C.



Obr. 3.3.: Vstřikovací forma

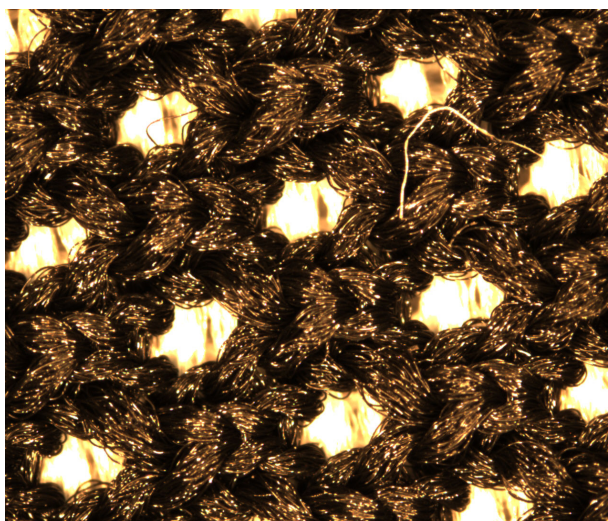


Obr. 3.4.: Vstřikovací forma - detail (z levé strany hloubka: 1mm, 2mm, 3mm)

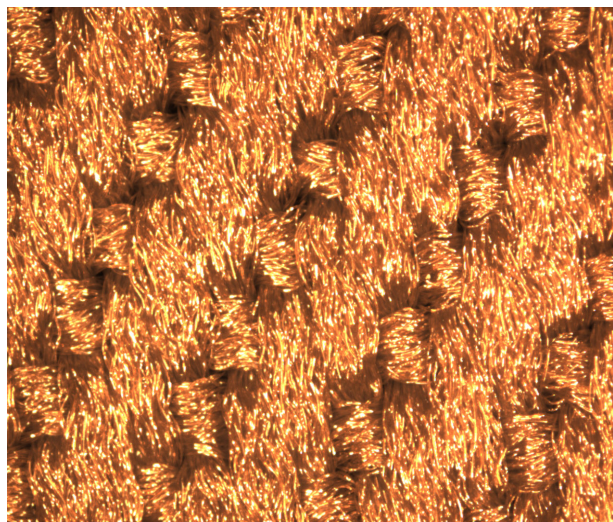
3.5. Vkládaný materiál

Pro hodnocení vlivu povrchu spodní strany vkládaného materiálu, vlivu textury vloženého materiálu a vlivu tloušťky vkládaného materiálu na tekutost (na soudružnost, nebezpečí porušení, apod.) byly vybrány rozdílné materiály (viz. obr. 3.5), které se vkládaly do formy pro zastříknutí taveninou plastu. Jednalo se o fólie s „pokovením“ o dvou rozdílných tloušťkách), textilie (pleteniny tkaniny) bez podkladové vrstvy, s podkladovou netkanou textilií, s podkladovou vypěněnou vrstvou a v posledním případě o měkčené PVC – „koženku“.

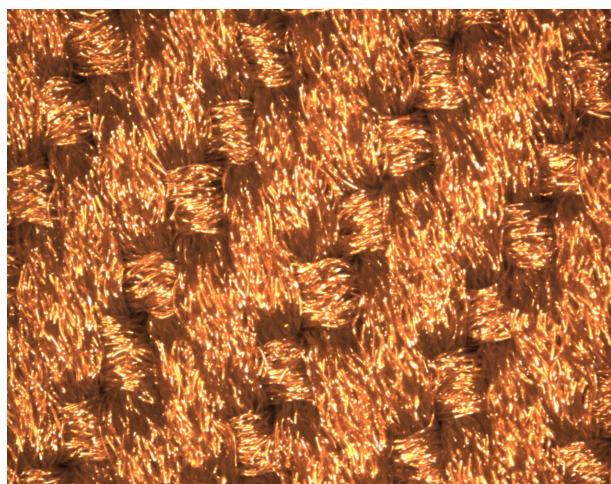
1) Pletenina + PUR pěna



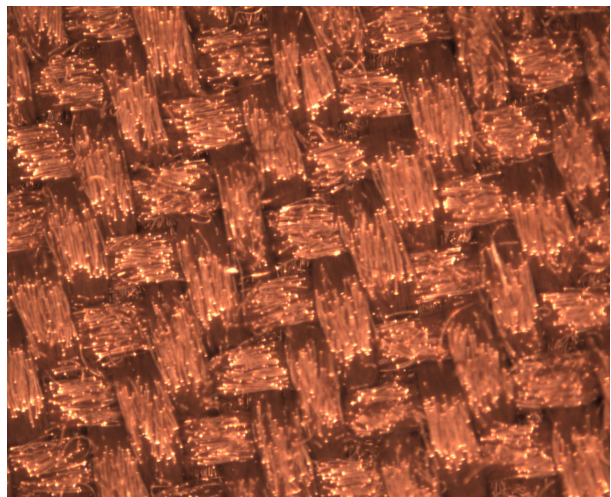
2) Tkanina v krepové vazbě - 1



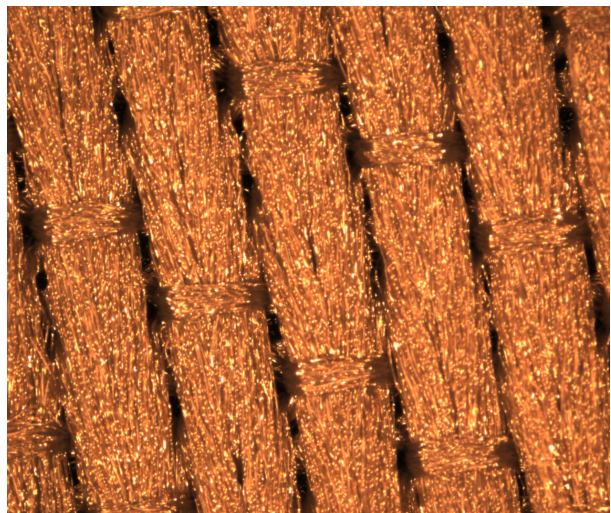
3) Tkanina v krepové vazbě - 2



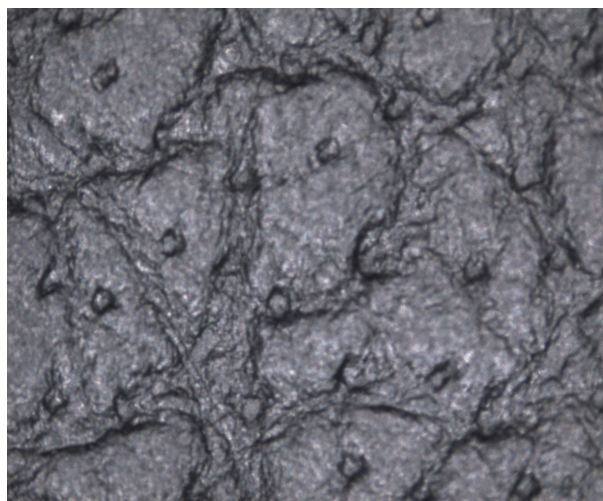
4) Tkanina v krepové vazbě - 3



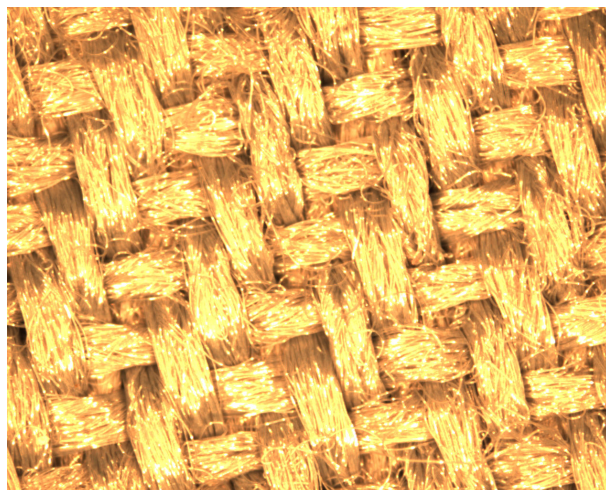
5) Tkanina v krepové vazbě + netkaná textilie



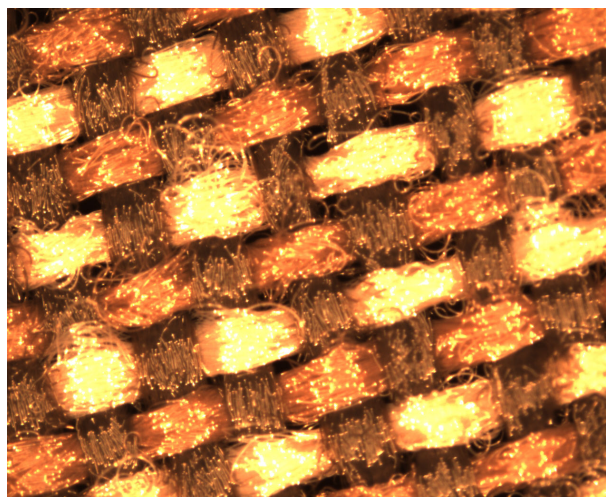
6) PVC koženka

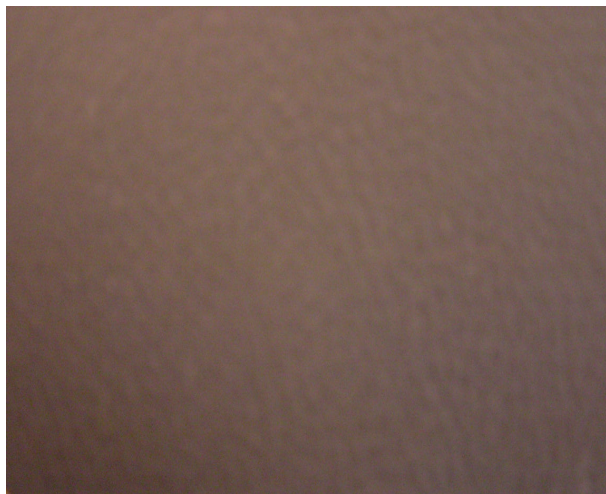


7) Tkanina v kreповé vazbě - 4



8) Tkanina v plátnové vazbě



9) Kovová fólie Metalure Al 10808 G3 slabá**10) Kovová fólie Metalure Al 10808 G3 silná**

Obr. 3.5.: Vkládaný materiál

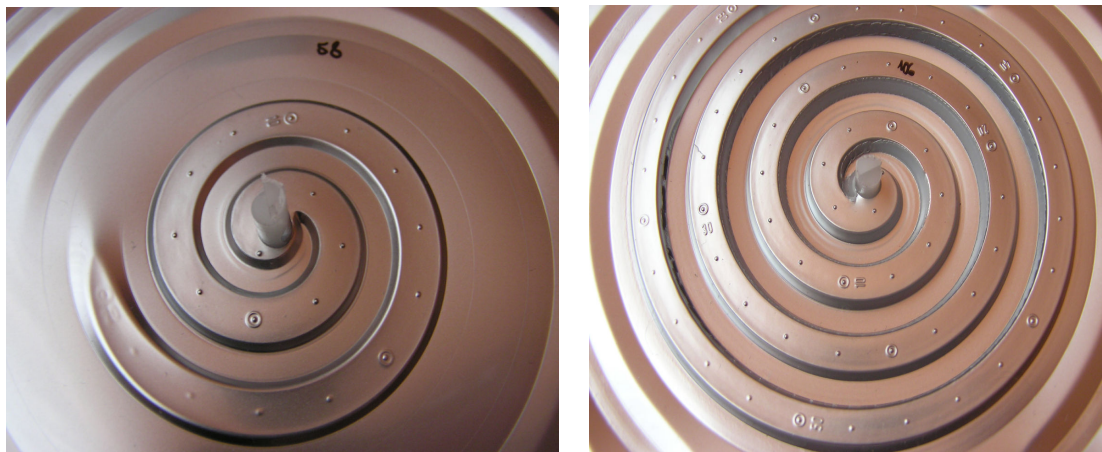
3.5.1. Zastříknuté vzorky

Na obr. 3.6 je ukázán tvar spirály po vstřikování pouze samotného plastu do vybrané tvarové dutiny formy. Z obrázku je velmi dobře vidět úprava formy pro odečet délky vlastní spirály.

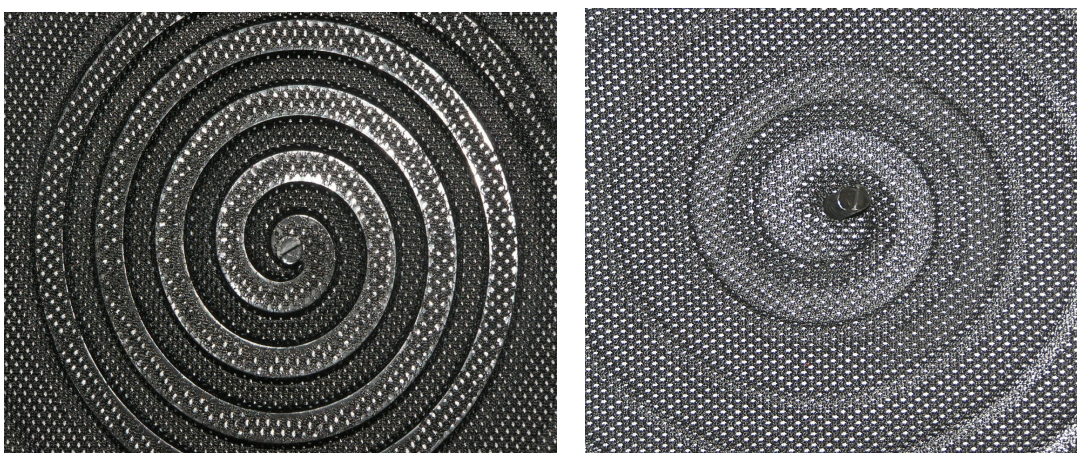


Obr. 3.6.: Příklad spirály po vstřikování PP do vybrané dutiny formy

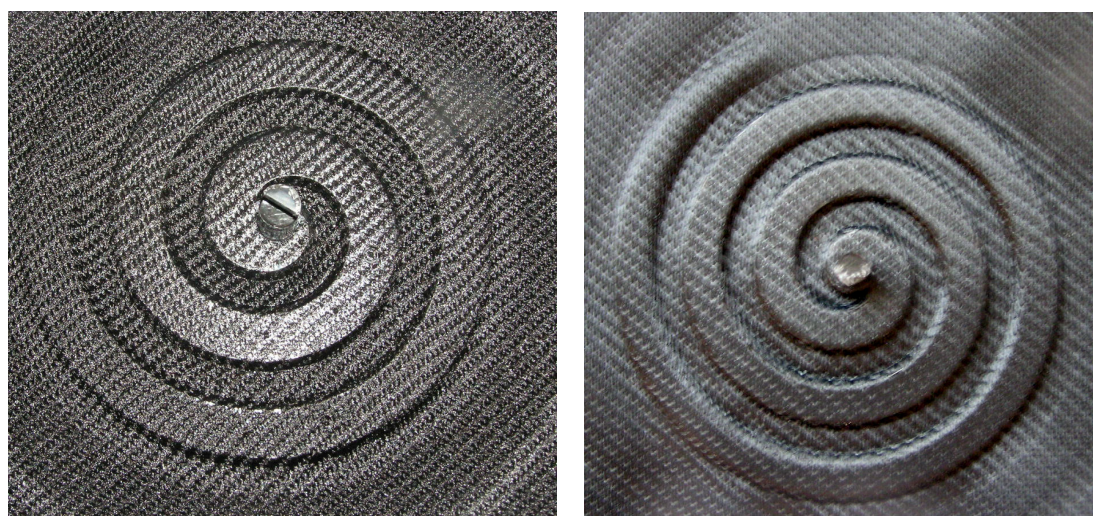
Na následujících obrázcích (viz. obr. 3.7 až 3.9) jsou ukázány výstupy pro různé materiály, které byly vkládány do vstřikovací formy, po provedeném vstřikování.



Obr. 3.7.: Příklad po zastržení kovových fólií



Obr. 3.8.: Příklad po zastržení textilií - pleteniny



Obr. 3.9.: Příklad po zastržení textilií – tkaniny 3 (vlevo) a tkaniny s netkanou textilií

3.6. Popis experimentu a proces měření

Jednotlivé materiály jsem vkládal do vlastní vstřikovací formy vždy tak, aby byla zachována podstata správně orientované vzhledové plochy na povrchu výrobku. Při experimentálním měření na vstřikovacím stroji se postupně měnila nejdříve tloušťka spirály a následně vstřikovací tlak. Veškeré ostatní parametry (teplota formy, rychlost vstřikování, použitý plast, atd.) byly konstantní. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Tab. 3.3.: Použité parametry pro vstřikování

teplota formy	60 °C
teplota taveniny	230 °C
doba cyklu	45 s
doba vstřiku a dotlak	5 s
doba chlazení	15 s

Pro každé vybrané a měněné parametry (tloušťka spirály, vstřikovací tlak, typ vkládaného materiálu) byly vyrobeny vždy 3 spirály a to tak, aby se délka spirály mezi po sobě jdoucími výrobky nelišila o více jak ± 2 mm. Při každé výměně tloušťky spirály, při změně tlaku, apod. nebyly spirály, získané během rozběhové fáze, do měřených výrobků uváděny. Velmi zjednodušeně se dá zkonstatovat, že zhruba prvních dvacet spirál nebylo zahrnuto do vyhodnocení a teprve následující tři spirály byly vyhodnoceny v následujících tabulkách (viz. tab. 3.4. až tab. 3.11.).

Na závěr experimentálního měření jsem získané hodnoty z experimentálního měření vynesl do grafů a následně porovnal s hodnotami pro samostatně vstřikovaný plast, kterým byl již dříve uvedený PP Kelburon 95610 (viz. kap. 3.2.), za shodných zkušebních podmínek uvedených v tab. 3.3.

Ve druhé části jsem provedl hodnocení kvality povrchu zastříknutých materiálů, deformace, proražení resp. protržení vložených materiálů tekoucí taveninou plastu během procesu. Ukázky z těchto výsledků jsou uvedeny samostatně v kapitole 3.5.1. viz. obr. 3.7. až 3.9.

3.7. Tabulka naměřených hodnot u technologie IN-MOULD

V následujících kapitolách bude provedeno srovnání a grafické vyhodnocení naměřených hodnot pro vybraný polymer a zvolený vkládaný materiál - textilie.

3.7.1. PP Kelburon 95610 + pletenina, PUR pěna

Tab. 3.4.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + pletenina, PUR pěna

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	154 ± 2	180 ± 2	348 ± 2	378 ± 2	515 ± 2	545 ± 2
		178 ± 2		375 ± 2		540 ± 2
		180 ± 2		370 ± 2		538 ± 2
5	193 ± 2	210 ± 2	400 ± 2	440 ± 2	610 ± 2	640 ± 2
		212 ± 2		438 ± 2		638 ± 2
		212 ± 2		435 ± 2		645 ± 2
6	215 ± 2	245 ± 2	446 ± 2	472 ± 2	710 ± 2	742 ± 2
		240 ± 2		475 ± 2		765 ± 2
		242 ± 2		480 ± 2		760 ± 2



délka spirály bez zastříkovaného materiálu

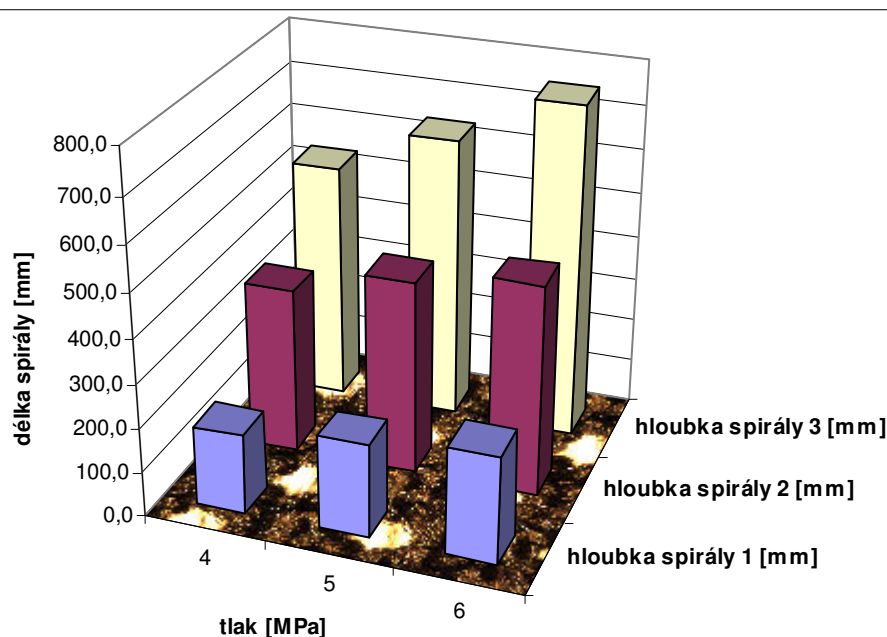


vyhovuje



nevyhovuje – při hloubce spirály 2 mm – začíná protékat plast vkládaným materiálem
při hloubce spirály 3 mm – proteče vloženým materiálem úplně

■ hloubka spirály 1 [mm] ■ hloubka spirály 2 [mm] ■ hloubka spirály 3 [mm]



Obr.. 3.10:
Naměřené
hodnoty pro PP
Kelburon 95610
+ pletenina,
PUR pěna

3.7.2. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě - 1

Tab. 3.5.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 1

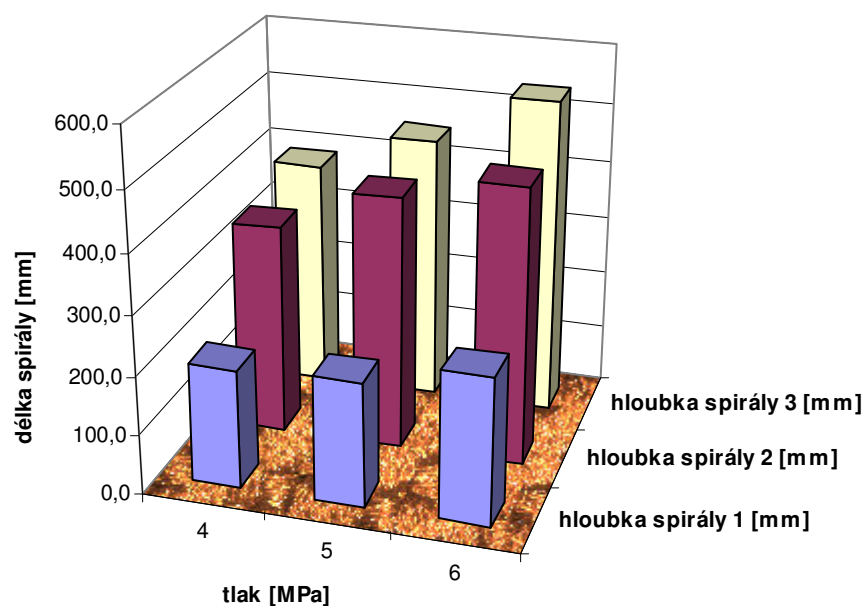
tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	154 ± 2	200 ± 2	348 ± 2	378 ± 2	400 ± 2	450 ± 2
		205 ± 2		382 ± 2		440 ± 2
		200 ± 2		380 ± 2		450 ± 2
5	193 ± 2	210 ± 2	400 ± 2	435 ± 2	470 ± 2	530 ± 2
		210 ± 2		435 ± 2		530 ± 2
		210 ± 2		430 ± 2		525 ± 2
6	220 ± 2	250 ± 2	446 ± 2	476 ± 2	500 ± 2	565 ± 2
		250 ± 2		480 ± 2		550 ± 2
		250 ± 2		480 ± 2		560 ± 2

délka spirály bez zastříkovaného materiálu

vyhovuje

nevyhovuje – při hloubce spirály 2 mm – začíná protékat plast vkládaným materiálem
při hloubce spirály 3 mm – proteče vloženým materiálem úplně

■ hloubka spirály 1 [mm] ■ hloubka spirály 2 [mm] ■ hloubka spirály 3 [mm]



Obr. 3.11.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 1

3.7.3. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě - 2

Tab. 3.6.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 2

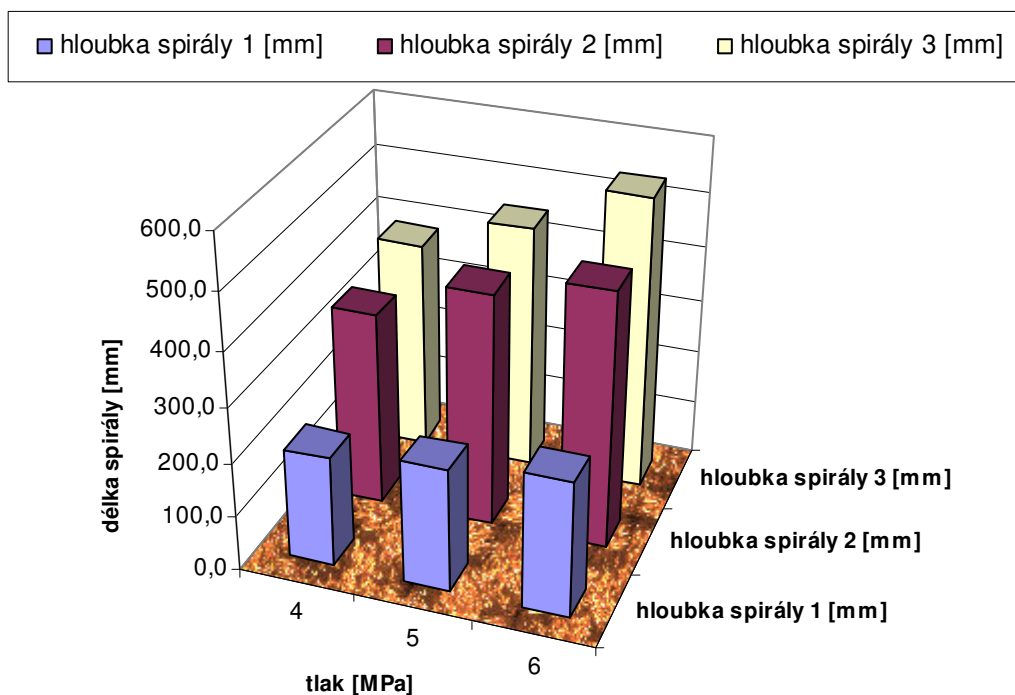
tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	155 ± 2	200 ± 2	348 ± 2	355 ± 2	355 ± 2	390 ± 2
		210 ± 2		360 ± 2		392 ± 2
		200 ± 2		355 ± 2		385 ± 2
5	193 ± 2	220 ± 2	400 ± 2	435 ± 2	405 ± 2	460 ± 2
		225 ± 2		425 ± 2		450 ± 2
		230 ± 2		430 ± 2		450 ± 2
6	215 ± 2	250 ± 2	445 ± 2	470 ± 2	500 ± 2	540 ± 2
		245 ± 2		470 ± 2		540 ± 2
		250 ± 2		470 ± 2		540 ± 2



délka spirály bez zastříkovaného materiálu



nevyhovuje – při hloubce spirály 1 mm – začíná protékat plast vkládaným materiálem
 při hloubce spirály 2 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 3 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně



Obr. 3.12.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 2

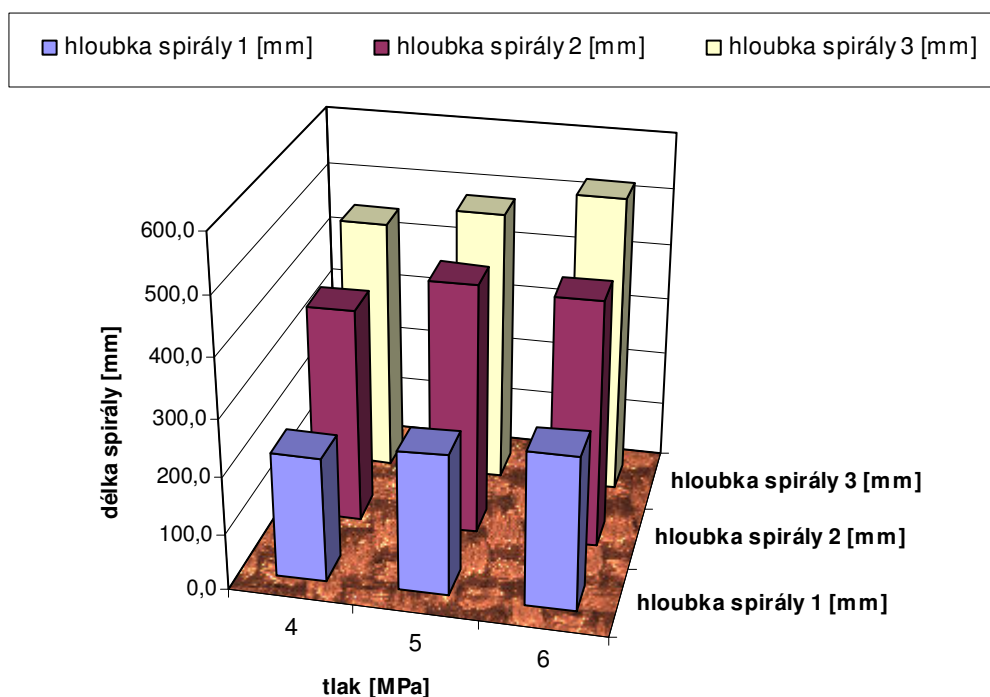
3.7.4. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě - 3

Tab. 3.7.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 3

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	175 ± 2	220 ± 2	350 ± 2	380 ± 2	400 ± 2	450 ± 2
		220 ± 2		380 ± 2		450 ± 2
		215 ± 2		375 ± 2		450 ± 2
5	210 ± 2	250 ± 2	400 ± 2	440 ± 2	450 ± 2	485 ± 2
		245 ± 2		440 ± 2		490 ± 2
		245 ± 2		445 ± 2		480 ± 2
6	230 ± 2	270 ± 2	480 ± 2	530 ± 2	500 ± 2	530 ± 2
		270 ± 2		530 ± 2		525 ± 2
		270 ± 2		530 ± 2		530 ± 2

délka spirály bez zastříkovaného materiálu

nevyhovuje – při hloubce spirály 1 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 2 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 3 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně



Obr. 3.13.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 3

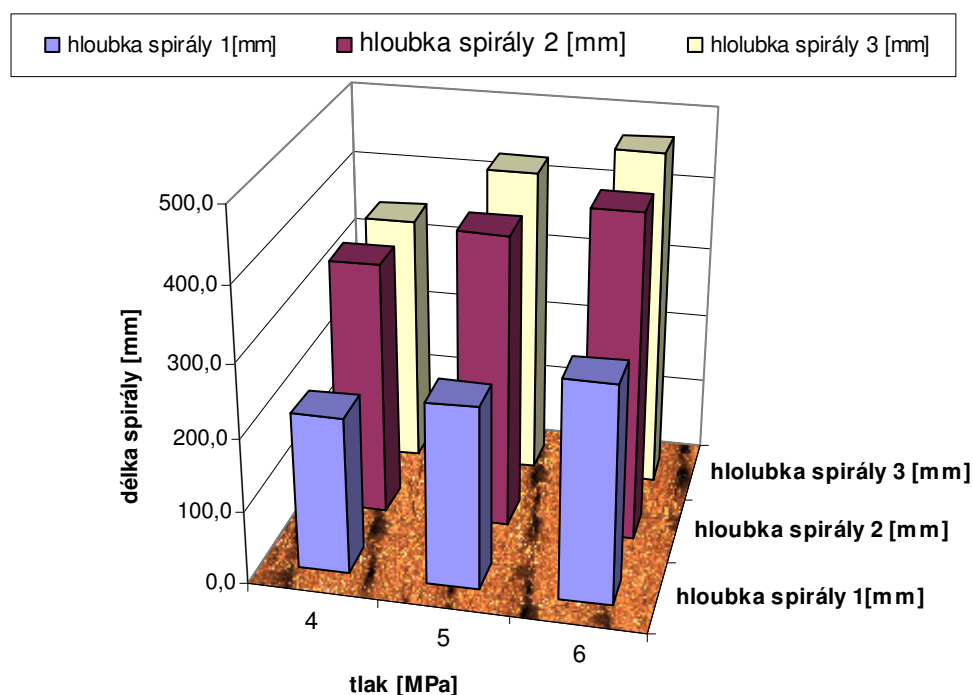
3.7.5. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě + netkaná textilie

Tab. 3.8.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě + netkaná textilie

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	180 ± 2	220 ± 2	375 ± 2	400 ± 2	500 ± 2	530 ± 2
		215 ± 2		400 ± 2		540 ± 2
		215 ± 2		400 ± 2		535 ± 2
5	210 ± 2	250 ± 2	440 ± 2	480 ± 2	530 ± 2	560 ± 2
		250 ± 2		480 ± 2		560 ± 2
		250 ± 2		480 ± 2		560 ± 2
6	260 ± 2	300 ± 2	490 ± 2	530 ± 2	590 ± 2	620 ± 2
		300 ± 2		530 ± 2		620 ± 2
		295 ± 2		530 ± 2		620 ± 2

délka spirály bez zastříkovaného materiálu

nevyhovuje – při hloubce spirály 1 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 2 mm – plast místama protéká vloženým materiálem
 při hloubce spirály 3 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně



Obr. 3.14.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + netkaná textilie

3.7.6. PP Kelburon 95610 + PVC koženka

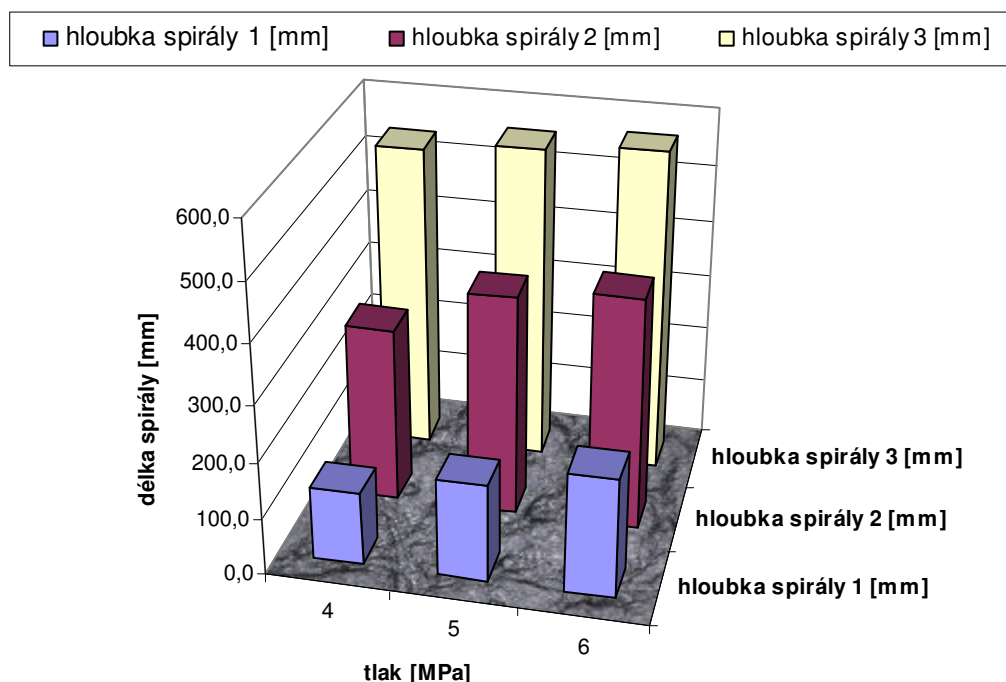
Tab. 3.9.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + PVC koženka

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	150 ± 2	130 ± 2	280 ± 2	310 ± 2	500 ± 2	540 ± 2
		130 ± 2		310 ± 2		540 ± 2
		130 ± 2		310 ± 2		540 ± 2
5	190 ± 2	170 ± 2	370 ± 2	400 ± 2	510 ± 2	560 ± 2
		170 ± 2		395 ± 2		555 ± 2
		170 ± 2		400 ± 2		560 ± 2
6	220 ± 2	210 ± 2	390 ± 2	410 ± 2	530 ± 2	570 ± 2
		210 ± 2		410 ± 2		570 ± 2
		212 ± 2		410 ± 2		570 ± 2

délka spirály bez zastříkovaného materiálu

vyhovuje

nevyhovuje – při hloubce spirály 1 mm – plast se neprotlačí materiálem
při hloubce spirály 2 mm – plast se začíná protlačovat, pořád málo



Obr. 3.15.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + PVC koženka

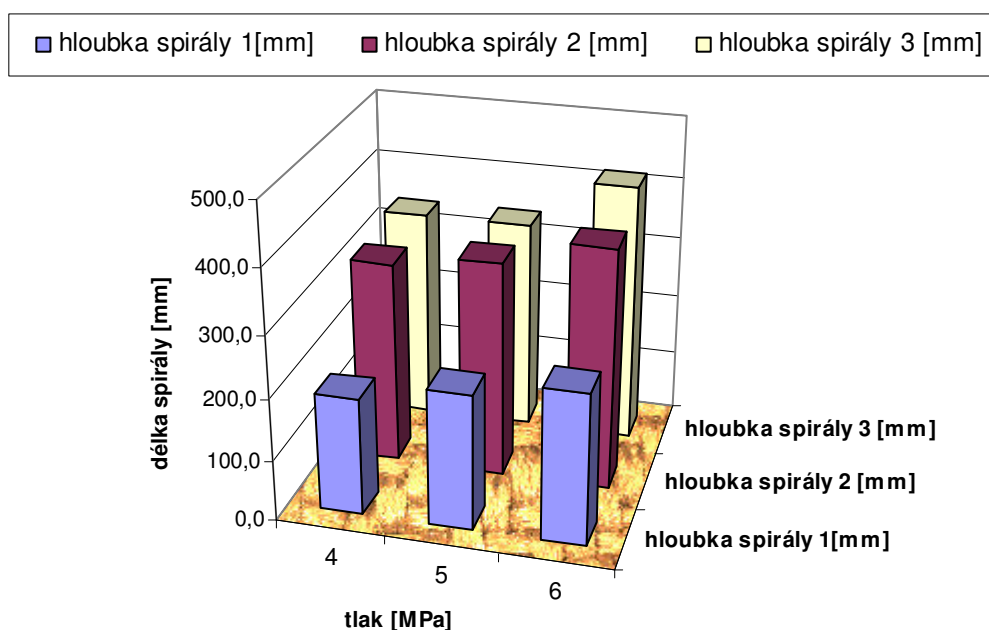
3.7.7. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě - 4

Tab. 3.10.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 4

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	160 ± 2	200 ± 2	330 ± 2	350 ± 2	300 ± 2	345 ± 2
		200 ± 2		350 ± 2		350 ± 2
		200 ± 2		350 ± 2		350± 2
5	190 ± 2	210 ± 2	375 ± 2	410 ± 2	395 ± 2	430 ± 2
		215 ± 2		400 ± 2		425 ± 2
		215 ± 2		405 ± 2		430 ± 2
6	220 ± 2	250 ± 2	400 ± 2	450 ± 2	440 ± 2	470 ± 2
		250 ± 2		450 ± 2		470 ± 2
		250 ± 2		450 ± 2		465 ± 2

délka spirály bez zastříkovaného materiálu

nevyhovuje - při hloubce spirály 1 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 2 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 3 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně



Obr. 3.16.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě 4

3.7.8. PP Kelburon 95610 + tkanina v plátnové vazbě

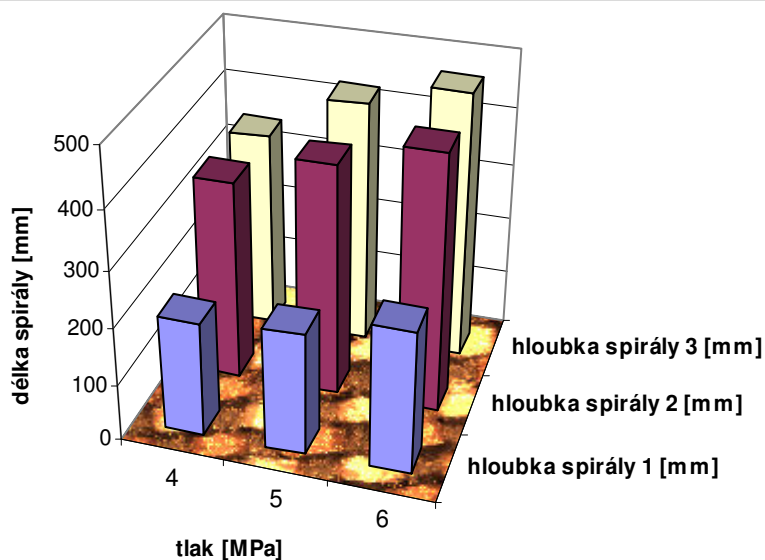
Tab. 3.11.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v plátnové vazbě

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	160 ± 2	190 ± 2	295 ± 2	325 ± 2	300 ± 2	345 ± 2
		190 ± 2		330 ± 2		340 ± 2
		190 ± 2		330 ± 2		340 ± 2
5	185 ± 2	220 ± 2	310 ± 2	350 ± 2	330 ± 2	380 ± 2
		220 ± 2		345 ± 2		375 ± 2
		220 ± 2		350 ± 2		380 ± 2
6	200 ± 2	245 ± 2	360 ± 2	390 ± 2	390 ± 2	420 ± 2
		240 ± 2		390 ± 2		420 ± 2
		240 ± 2		390 ± 2		420 ± 2

délka spirály bez zastříkovaného materiálu

nevyhovuje - při hloubce spirály 1 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 2 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně
 při hloubce spirály 3 mm – plast proteče vloženým materiálem úplně

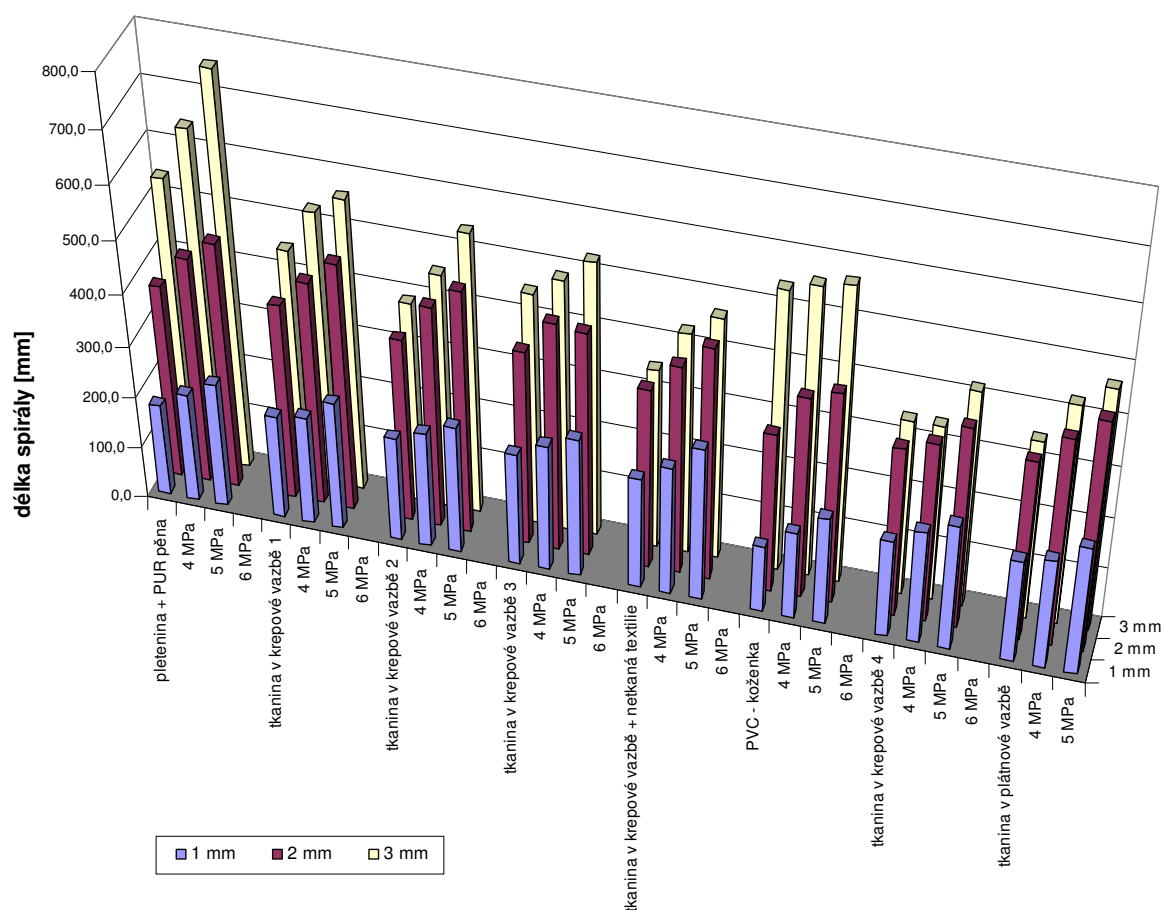
■ hloubka spirály 1 [mm] ■ hloubka spirály 2 [mm] ■ hloubka spirály 3 [mm]



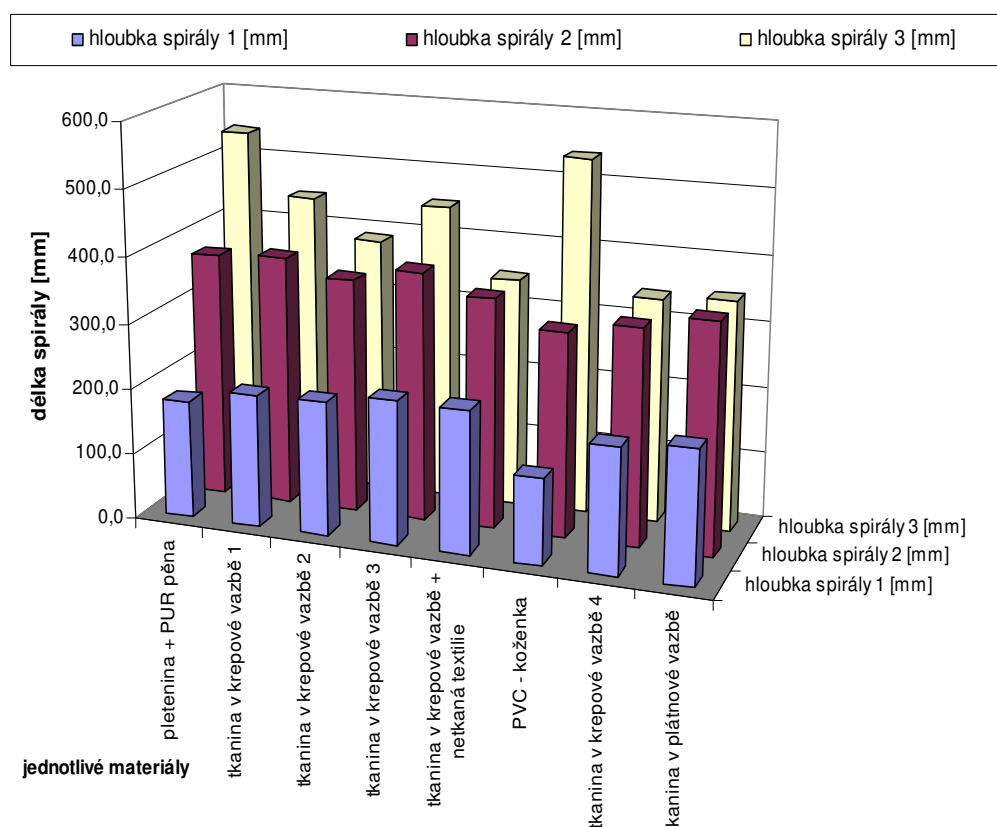
Obr. 3.17.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + tkanina v plátnové vazbě

3.7.9. Porovnání naměřených hodnot

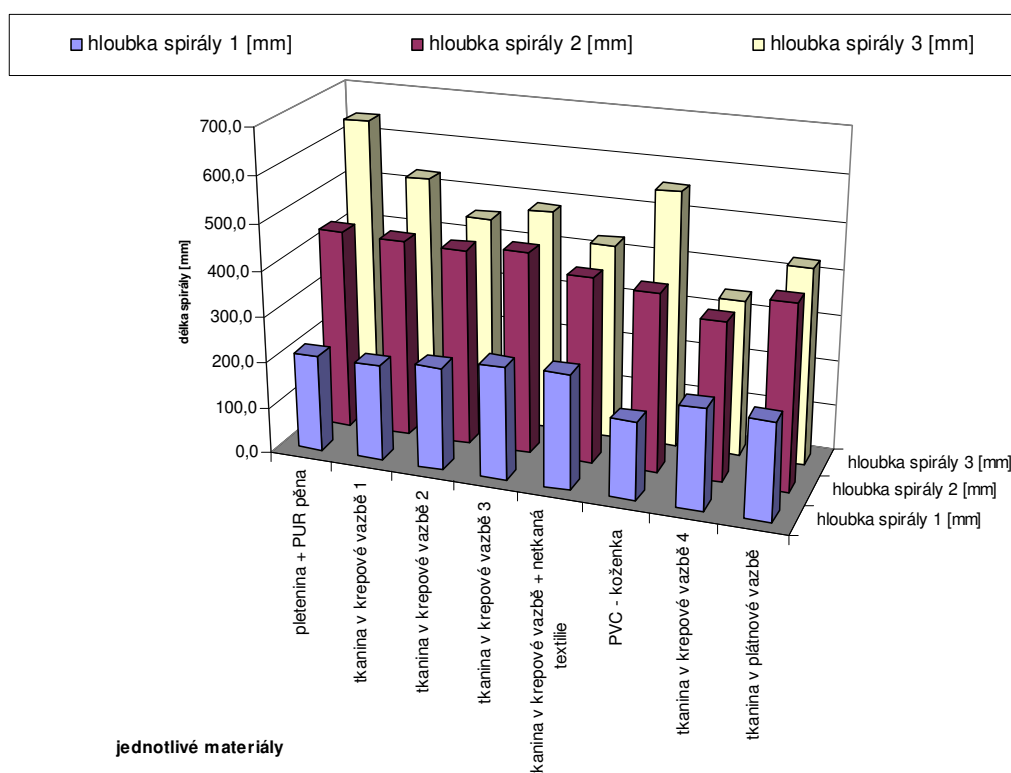
Na následujících obrázcích (viz. obr. 3.18 až 3.21) je provedeno srovnání dříve uvedených a naměřených experimentálních dat. Na obr. 3.18 je celkové srovnání, na obr. 3.19 až 3.21 je srovnání pro jednotlivé tlaky, používané pro zastříkování vybraných textilií.



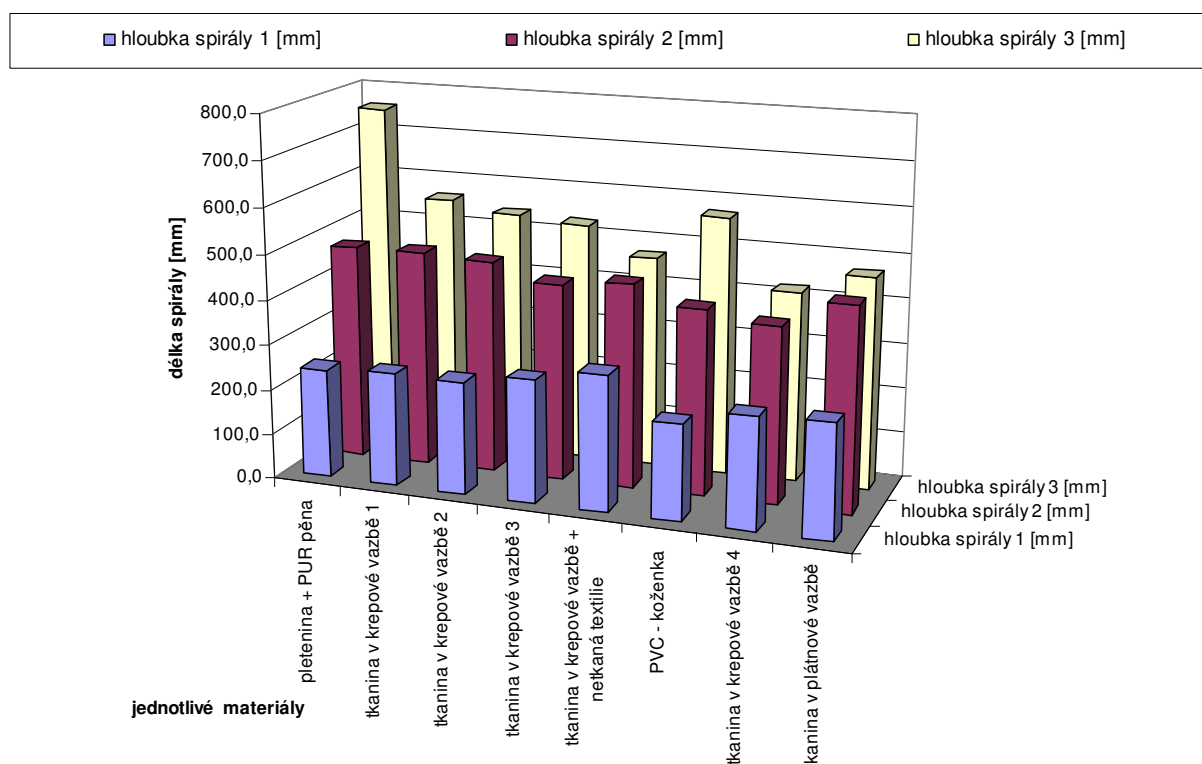
Obr. 3.18.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané textilie, zvolené parametry vstříkování a zvolené tloušťky spirály



Obr. 3.19.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané textilie, zvolené parametry vstřikování a zvolené tloušťky spirály pro tlak 4 MPa



Obr. 3.20.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané textilie, zvolené parametry vstřikování a zvolené tloušťky spirály pro tlak 5 MPa



Obr. 3.21.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané textilie, zvolené parametry vstřikování a zvolené tloušťky spirály pro tlak 6 MPa

3.8. Tabulka naměřených hodnot při zastřikování fólií

3.8.1. PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm

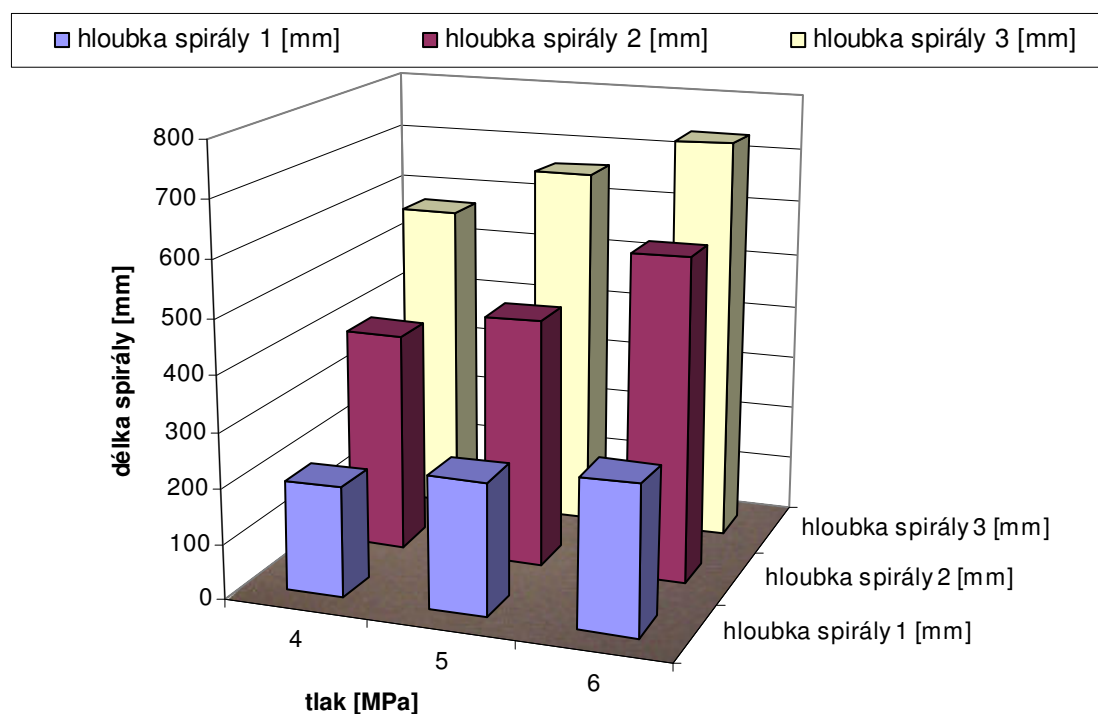
Tab. 3.12.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	173 ± 2	200 ± 2	348± 2	400 ± 2	530 ± 2	570 ± 2
		200 ± 2		397± 2		570 ± 2
5	200 ± 2	238 ± 2	400 ± 2	450 ± 2	615 ± 2	660 ± 2
		240 ± 2		450 ± 2		660 ± 2
6	225± 2	267± 2	447 ± 2	585 ± 2	670 ± 2	735 ± 2
		270 ± 2		585 ± 2		735 ± 2

délka spirály bez fólie

vyhovuje

nevyhovuje - při hloubce spirály 2 mm – fólie je potrhána po vnitřní straně spirály
při hloubce spirály 3 mm – fólie potrhána po vnitřní straně spirály "



Obr. 3.22.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm

3.8.2. PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,4 mm

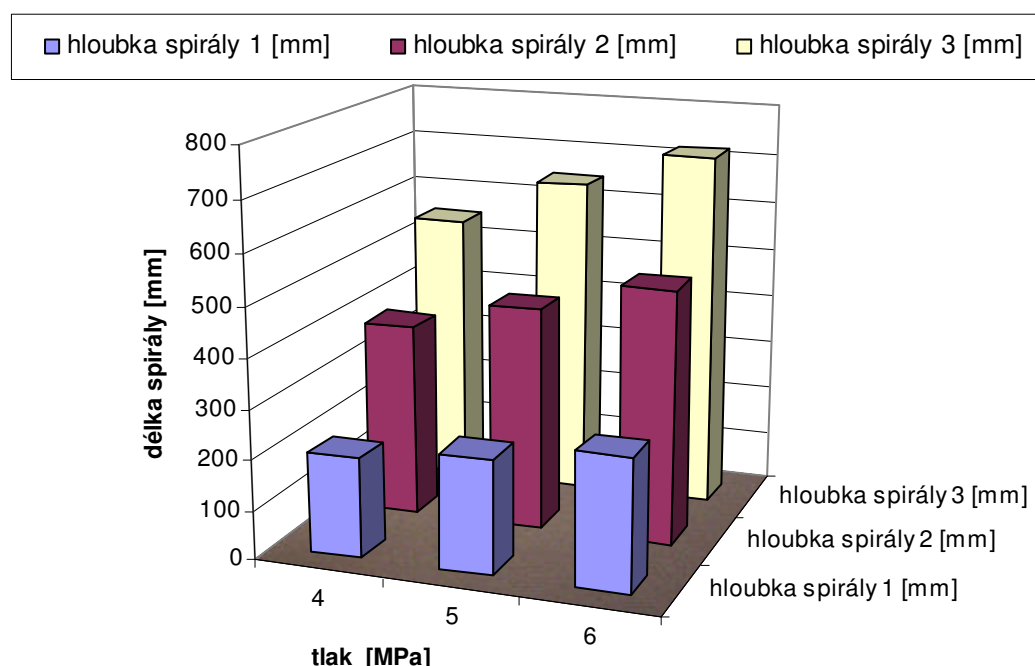
Tab. 3.13.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,4 mm

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	170 ± 2	200 ± 2	348 ± 2	390 ± 2	530 ± 2	550 ± 2
		200 ± 2		388 ± 2		550± 2
5	187 ± 2	230 ± 2	400 ± 2	448 ± 2	610 ± 2	640 ± 2
		228 ± 2		450 ± 2		650 ± 2
6	220 ± 2	265 ± 2	453± 2	510 ± 2	690 ± 2	720 ± 2
		265 ± 2		510 ± 2		715 ± 2

délka spirály bez fólie

vyhovuje

nevyhovuje - při hloubce spirály 2 mm – fólie je potrhána po vnitřní straně spirály
při hloubce spirály 3 mm – fólie potrhána po vnitřní straně spirály



Obr. 3.23.: Naměřené hodnoty pro PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,4 mm

3.8.3. ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,6 mm

Na základě požadavku firmy Cadence Innovation byl jako další materiál vybrán ABS Magnum 3616. Z časových důvodů bylo měření provedeno pouze pro kovové fólie, u kterých byly výsledky požadovány nejvíce, neboť tyto materiály se zatím ve firmě průmyslově pro zastříkávání nepoužívají.

Tab. 3.14.: Naměřené hodnoty pro ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,6 mm

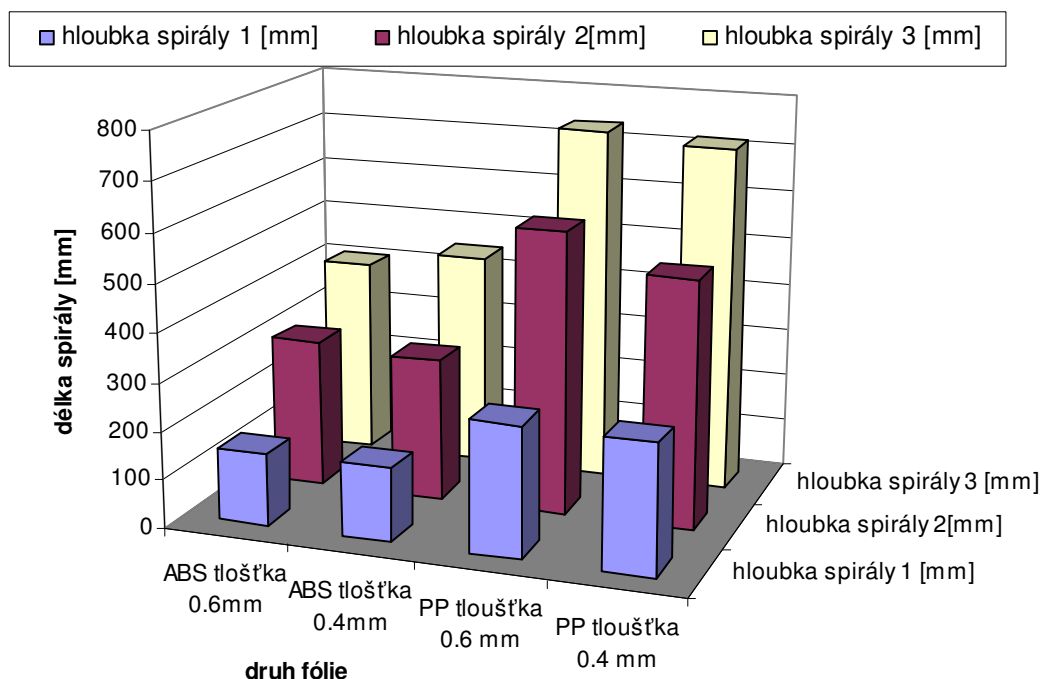
tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	98 ± 2	113 ± 2	200 ± 2	213 ± 2	294 ± 2	320 ± 2
		113 ± 2		213 ± 2		312 ± 2
5	116 ± 2	128 ± 2	244± 2	258± 2	340 ± 2	355 ± 2
		128 ± 2		258± 2		355 ± 2
6	127 ± 2	149 ± 2	275 ± 2	320± 2	390 ± 2	410 ± 2
		149 ± 2		295 ± 2		410 ± 2

délka spirály bez fólie

vyhovuje

nevyhovuje - při hloubce spirály 2 mm – fólie je potrhána po vnitřní straně spirály
při hloubce spirály 3 mm – fólie je potrhána po vnitřní straně spirály

Naměřené hodnoty jsou znázorněny v tabulce 3.14. a 3.15. a byly vyneseny do grafů (viz. obr. 3.24 a 3.25). Následně byly tyto hodnoty porovnány s PP Kelburon 95610, což je uvedeno na obr. 3.26. až 3.28.



Obr. 3.24.: Naměřené hodnoty pro ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,6 mm

3.8.4. ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,4 mm

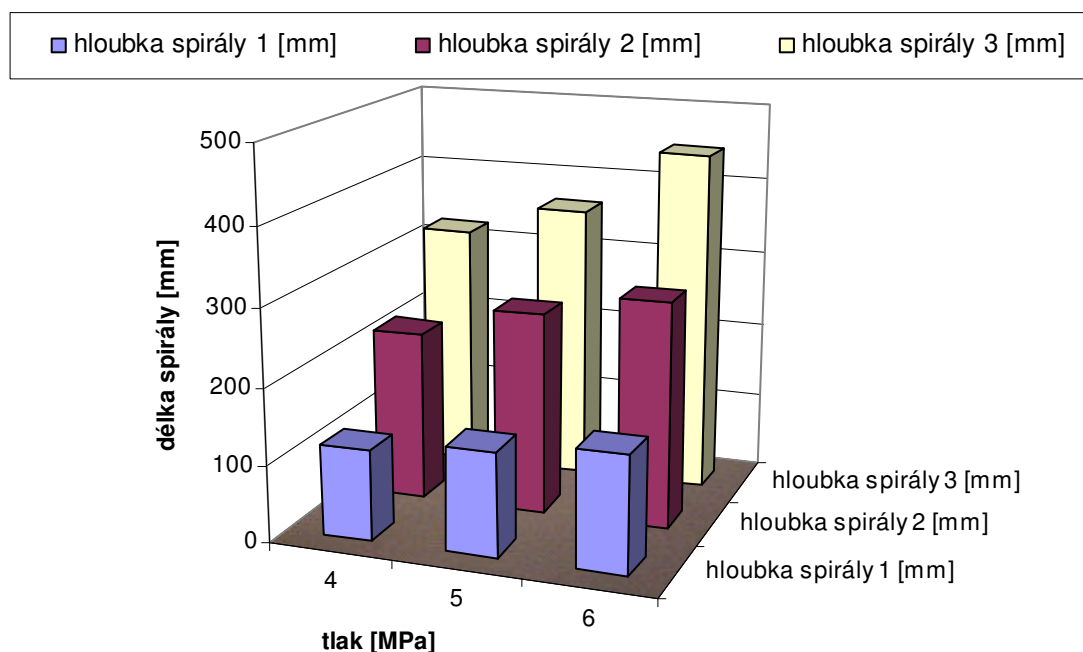
Tab. 3.15.: Naměřené hodnoty pro ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,4 mm

tlak [MPa]	hloubka spirály [mm]					
	1		2		3	
	délka spirály [mm]					
4	95 ± 2	118 ± 2	205 ± 2	222 ± 2	288± 2	330 ± 2
		118 ± 2		222 ± 2		325 ± 2
5	116 ± 2	136 ± 2	244 ± 2	264 ± 2	347 ± 2	360 ± 2
		136 ± 2		264± 2		365 ± 2
6	127 ± 2	153 ± 2	270 ± 2	294 ± 2	477 ± 2	440± 2
		153 ± 2		294 ± 2		455 ± 2

délka spirály bez fólie

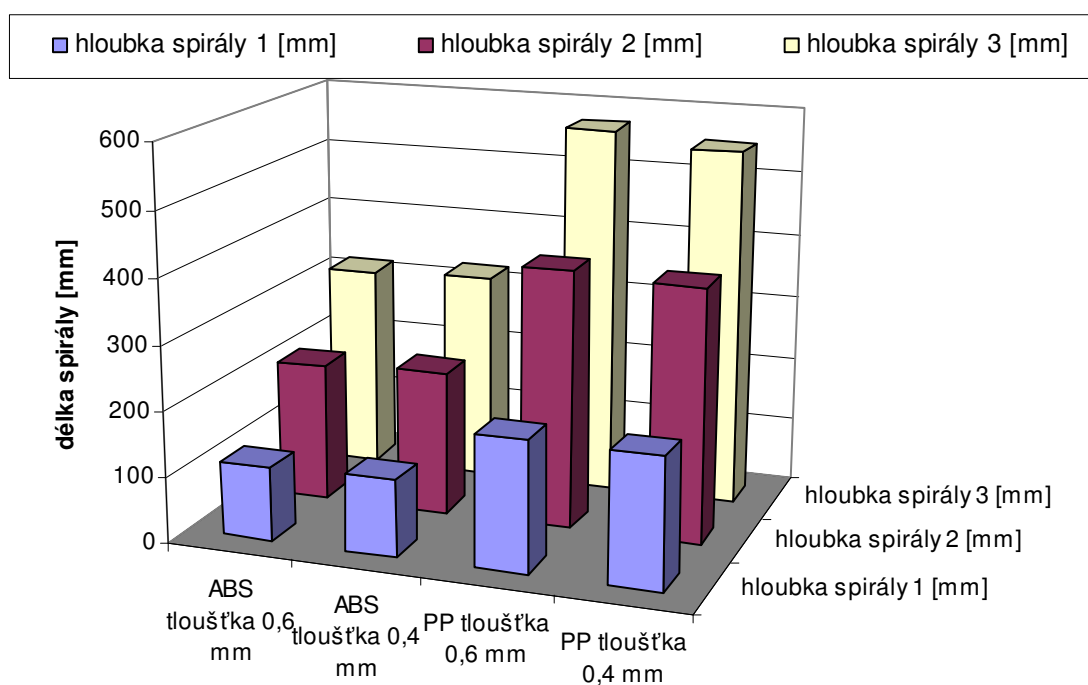
vyhovuje

nevyhovuje - při hloubce spirály 2 mm – fólie je potrhána po vnitřní straně spirály
při hloubce spirály 3 mm – fólie je potrhána po vnitřní straně spirály

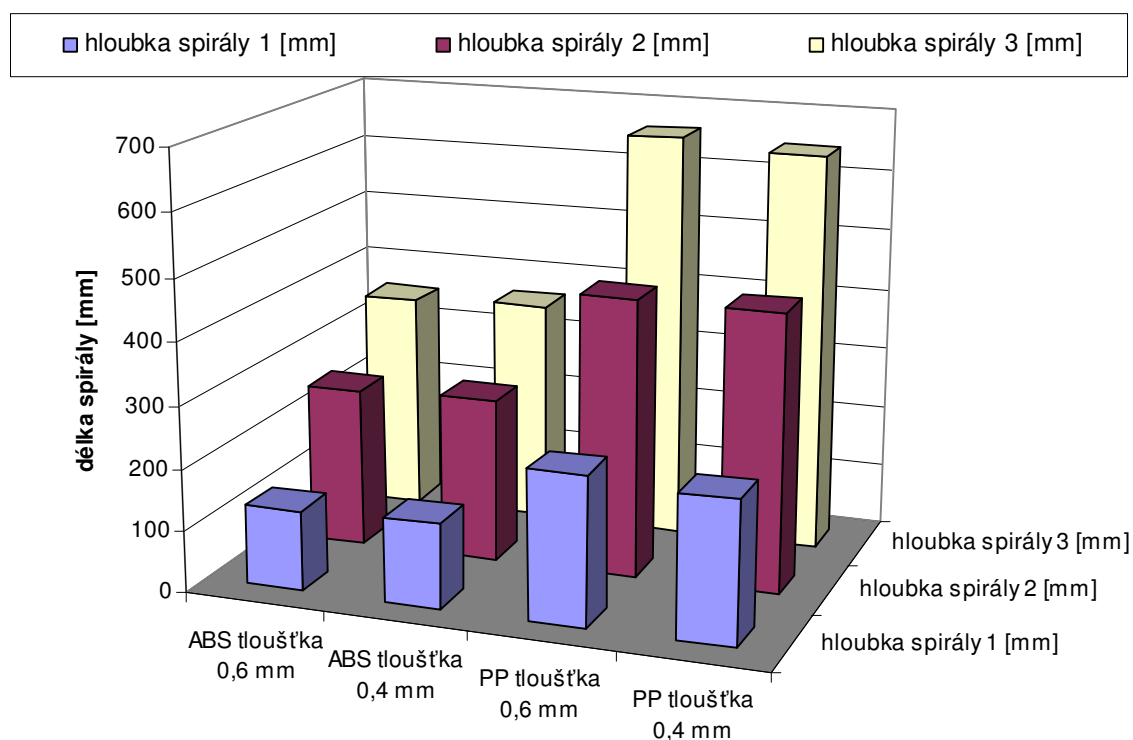


Obr. 3.25.: Naměřené hodnoty pro ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,4 mm

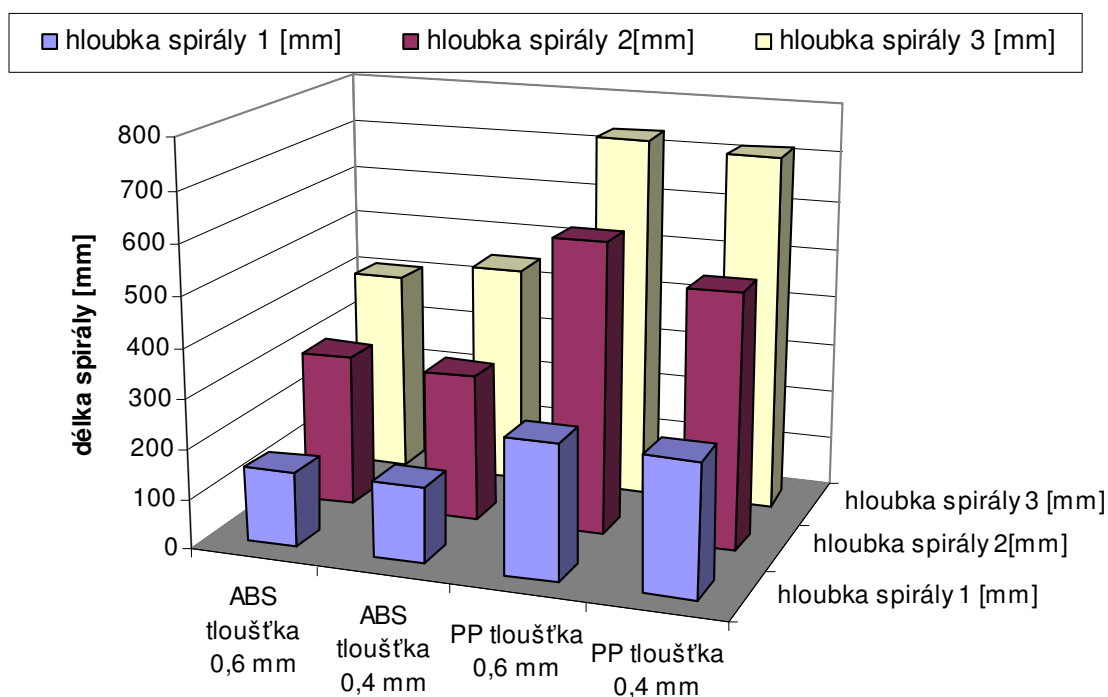
3.8.5. Porovnání naměřených hodnot pro PP a ABS



Obr. 3.26.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané fólie, zvolené parametry vstřikování a zvolené tloušťky spirály pro tlak 4 MPa



Obr. 3.27.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané fólie, zvolené parametry vstřikování a zvolené tloušťky spirály pro tlak 5 MPa



Obr. 3.28.: Porovnání naměřených hodnot pro vybrané fólie, zvolené parametry vstřikování a zvolené tloušťky spirály pro tlak 6 MPa

4. Diskuze

V této části diplomové práce bych chtěl shrnout poznatky, které byly získány během měření při zastříkávání rozdílných materiálů polymerem za různého tlaku a pro různé tloušťky spirály.

1. Hodnocení jednotlivých vkládaných materiálů na délku zatečení: Největší délku spirály při použitém tlaku 4 MPa má materiál č.5 - PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě+netkaná textilie, a to jak pro hloubku spirály 1 mm (délka spirály 217 mm), pro hloubku spirály 2 mm (délka spirály 400 mm), což je zřejmě dáno jednak špatný odvodem tepla mezi formou a plastem a na druhé straně i poměrně malou tloušťkou vloženého materiálu. Při hloubce spirály 3 mm má největší zatečení materiál PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm (délka 570 mm), což si lze vysvětlit tím, že objem plastu už je poměrně výrazný a spolu s hladkým povrchem fólie dostáváme nejvyšší hodnotu. Při použitém tlaku 5 MPa a pro hloubku spirály 1 mm, má nejdelší zatečení opět materiál č. 5, tj. PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě+netkaná textilie pro hloubku spirály 1 mm (délka spirály 250 mm). Pro hloubku spirály 2 mm (délka 450 mm) a pro hloubku spirály 3 mm má nejdelší spirálu materiál PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm (délka 660mm). Vysvětlení je obdobné jako pro tlak 4 MPa. Při použitém tlaku 6 MPa a při hloubce spirály 1 mm má nejdelší délku toku taveniny opět materiál č.5 - PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě+netkaná textilie (délka spirály 298 mm). Při hloubce spirály 2 mm, má nejdelší spirálu materiál PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm (délka spirály 585 mm), při hloubce spirály 3 mm je délka 735 mm se shodným závěrem jako u tlaku 4 a 5 MPa.

Nejkratší délku spirály při použitém tlaku 4 MPa a hloubky spirály 1 mm má materiál ABS Magnum 3116 + fólie tloušťky 0,6 mm (délka 113 mm), při hloubce spirály 2 mm je délka pouze 213 mm a při hloubce spirály 3 mm je délka 316 mm. Při použitém tlaku 5 MPa a při hloubce spirály 1 mm má nejkratší spirály materiál ABS Magnum 3116 + fólie tloušťky 0,6 mm (délka 128 mm), při hloubce spirály 2 mm je délka 258 mm a při hloubce spirály 3 mm je délka 355 mm. Při použitém tlaku 6 MPa a pro hloubku spirály 1 mm má nejkratší spirálu opět materiál Magnum 3116 + fólie tloušťky 0,6 mm (délka 149 mm), při hloubce spirály 2 mm je délka 307 mm a při hloubce 3 mm délka 410 mm. To je zřejmě způsobeno jednak výrazně nižším ITT

materiálu ABS oproti PP a jednak vyšší přestupem tepla přes kovovou fólii do vlastní formy.

2. Porovnání délky zatečení (délky spirály) pouze pro fólie: U materiálu PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,6 mm a materiálu PP Kelburon 95610 + fólie tloušťky 0,4 mm má nejdelší délku spirály vždy fólie tloušťky 0,6 mm. Při použitém tlaku 4 MPa hloubce spirály 1 mm je délka spirály 200 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály u fólie tloušťky 0,6 mm 398 mm a při hloubce 3 mm délka spirály 570 mm. Při použitém tlaku 5 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka spirály 239 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály 450 mm a při hloubce 3 mm je délka spirály 645 mm. Při použitém tlaku 6 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka 268 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály 585 mm, při hloubce 3 mm je délka spirály 735 mm. Vysvětlení je velmi obtížné, neboť tloušťka je téměř shodná, materiál fólie také, ale pro silnější fólii a tedy pro menší zbytkovou tloušťku plastu je délka zatečení delší. Možná je to způsobeno menším prohýbáním fólie.

Z porovnávaných fólií má nejkratší délku spirály vždy fólie tloušťky 0,4 mm. Při použitém tlaku 4 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka spirály 200 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály 389 mm, při hloubce 3 mm je délka spirály 550 mm. Při použitém tlaku 5 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka 229 mm, při hloubce 2 mm je délka 449 mm, při hloubce 3 mm je délka spirály 645 mm. Při použitém tlaku 6 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka spirály 265 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály 510 mm, při hloubce 3 mm je délka spirály 718 mm.

Porovnání délky spirály u materiálu ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,6 mm a materiálu ABS Magnum 3616 + fólie tloušťky 0,4 mm má nejdelší délku spirály fólie tloušťky 0,4 mm a naopak. Nejkratší délky jsou pro fólii o tloušťce 0,6 mm. Při použitém tlaku 4 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka 113 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály 213 mm, při hloubce spirály 3 mm je délka spirály 316 mm. Při použitém tlaku 5 MPa hloubce spirály 1 mm délka 136 mm, při hloubce 2 mm délka spirály 264 mm, při hloubce spirály 3 mm délka spirály 363 mm. Při použitém tlaku 6 MPa a hloubce spirály 1 mm je délka 153 mm, při hloubce 2 mm je délka spirály 294 mm, při hloubce spirály 3 mm je délka spirály 447 mm. Vysvětlení je opět velmi obtížné, zřejmě zde již výrazná změna v ITT je výhodná u tenčích fólií, kde je více polymeru.

3. Vliv hloubky spirály: U použité vstřikovací formy s hloubkou 1 mm má nejkratší délku spirály měkčené PVC „koženka“ při tlaku 4 a 5 MPa. Tloušťka

vloženého materiálu je tak velká, že tavenina při daném hydraulickém tlaku neprotlačí plast dále do dutiny formy. Naopak nejdelší spirálu má tkanina v krepové vazbě + „netkaná textilie“. Co se týká kvality, tak materiály označené jako č. 1 (pletenina + PUR pěna), č. 2 (tkanina v krepové vazbě) vyhovují pro hloubku spirály 1 mm a pro všechny tři použité tlaky a č. 3 (měkčená PVC „koženka“) vyhovuje pro hloubku spirály 3 mm a pro použité tlaky. Ostatní materiály vykazují různé druhy poškození, např.: vstřikovaný plast protekl tkaninou.

4. *Hodnocení jednotlivých vkládaných materiálů (bez fólií, které bylo provedeno dříve – viz. bod 2. diskuze):* Materiál č.1 (PP Kelburon 95610 + pletenina, PUR pěna) vyhovuje pro použité tlaky a pro hloubku spirály 1 mm, pro hloubku 2 mm a 3 mm materiál nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 2 (PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 1) vyhovuje pro použité tlaky a pro hloubku spirály 1 mm, pro hloubku 2 mm a 3 mm materiál nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 3 (PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 2) nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 4 (PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 3) materiál nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 5 (PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě+netkaná textilie) nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 6 (měkčený PVC) vyhovuje pro použité tlaky a pro hloubku spirály 3 mm. U PVC „koženky“ vyhovuje právě použitá spirála hloubky 3 mm, oproti materiálu č. 1, č. 2. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 7 (PP Kelburon 95610 + tkanina v krepové vazbě – 4) nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Materiál č. 8 (PP Kelburon 95610 + tkanina v plátňové vazbě) nevyhovuje. Délka spirály se prodlužuje s rostoucím tlakem. Po tomto hodnocení kvality provedených vzorků je však nutné konstatovat, že spirála svým tvarem není úplně ideální pro zastříkování, neboť má ve spodních rozích poměrně malé rádiusy.

5. Závěr

Tato diplomová práce se skládá z 5 kapitol, z úvodu, teoretické části, praktické části, diskuze a závěru.

V úvodu práce jsem se v krátkosti zmínil o vývoji firmy Cadence Innovation, o její produkci a jejich uplatnění v současné společnosti. Dále pak popisují historii firmy Peguform, nyní „Cadence Innovation“, její výrobní technologie a výrobní program.

Teoretická část obsahuje popis vlastní klasické technologie z hlediska jednotlivých časových oblastí a kroků, potřebných z hlediska kvality a užitných vlastností výrobku. Dále je v této kapitole popsán a rozebrán proces nízkotlakého vstřikování a In-Mold technologie z hlediska strojního uspořádání, z hlediska procesu tečení a chlazení, z hlediska forem, možných vad a porušení, včetně přípravných operací a samozřejmě z hlediska výhod a nevýhod procesu.

V experimentální, praktické, části je v úvodu popsán princip a podstata metody, volba materiálu, stroje a nástroje. Je zde popsán proces výroby zkušebních vzorků, proces vyhodnocování ve vztahu k vybraným parametrům a zvoleným materiálům, které se vkládaly do vstřikovací formy. Na konci kapitoly je provedeno vyhodnocení a porovnání zjištěných hodnot do tabulek a grafů.

V diskuzi je provedeno vyhodnocení získaných dat pro všechny výše uvedené parametry a vstupní hodnoty experimentu se závěry pro praxi.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KREBS J. : Teorie zpracování nekovových materiálů, VŠST Liberec, 1991 (skripta).
- [2] CRAWFORD R.J. : Plastics Engineering, Pergamon Press, England. 1987.
- [3] BERHARDT E. C. : Processing of Thermoplastic Materials, Reinhold Publ.Corp., New York.
- [4] AVERY, J.: Injection Molding Alternatives, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [5] BEAUMONT, L.: Successful Injection Moulding, Carl Hanser Verlag, 2002.
- [6] LENFELD, P. A KOL.: Vliv kvality povrchu vkládaného materiálu na tekutost u In-mould technologie. In: 11. Mezinárodní konference „Vstřikování plastů“, str. 66-71. Praha : PLAST FORM SERVICE s.r.o., 2006, ISSN 1213-2632. .
- [7] LENFELD, P.: Technologie II. Internetová podpora výuky, TU Liberec, únor 2006, HTML verze, CD.
- [8] LENFELD, P.: Technologie II – 2. část, zpracování plastů. Skripta, TU Liberec, leden 2006, 139 stran, CD. ISBN 80-7372-037-X
- [9] Bayer, ATI 1101: In-mould lamination of decorative materials through low-pressure injection moulding
- [10] Internetové stránky www.bayer.com

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mě vyžadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Datum: 5.ledna 2007

Podpis: